

渭河流域气候要素演变特性分析

雷江群, 黄强, 畅建霞, 刘登峰

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西省西北旱区生态水利工程重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: 以渭河流域 21 个气象站 1960–2010 年的年降水、年潜在蒸散及年均气温为研究对象, 通过气候倾向率法、Mann–Kendall 法、累积距平法和小波分析法对各气候要素的演变特性进行了分析。结果表明: ① 51 a 来该流域年降水以 1.55 mm/a 线性趋势减少, 年潜在蒸散以 0.37 mm/a 线性趋势增加, 年均气温变化幅度不大, 且 3 种气候要素的变化趋势均不显著; ② 年降水分布东多西少, 南多北少, 呈现出由东南向西北逐渐减少的趋势; 年潜在蒸散在东西向呈现出南北带状相间分布的规律; 年均气温分布东高西低, 南高北低, 呈现出由东南向西北逐渐降低的趋势; ③ 年降水突变点为 1972、1976 和 1985 年; 年潜在蒸散突变点为 1962、1968 和 1974 年; 年均气温突变点为 1977 年; ④ 年降水、年潜在蒸散及年均气温序列均有 17 a 和 28 a 周期。

关键词: 降水; 潜在蒸散量; 突变点; 演变特性; 渭河流域

中图分类号: P423.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)05-0001-05

Analysis of evolution characteristics of climatic element in Weihe river basin

LEI Jiangqun, HUANG Qiang, CHANG Jianxia, LIU Dengfeng

(State Key Laboratory of Eco-Hydraulic Engineering in Shaanxi, School of Water Resources and Hydropower, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Taking the precipitation, potential evaporation and average temperature each year in 21 meteorological stations of Weihe river from 1960 to 2010 as research object, this article analyzed the variation characteristics of climatic element by use of climatic trend rate, Mann–Kendall method, accumulated departure and wavelet analysis method. The results are that: ① The annual precipitation decreased by 1.55 mm per year, the annual potential evapotranspiration increased by 0.37 mm per year, the annual average temperature changed slightly, and the trend of these climatic elements were not significant. ② The distribution of annual precipitation decreased from southeast to northwest of the basin, the annual potential evaporation showed a north-south zonal distribution in the eastwest direction, and the annual average temperature also decreased from southeast to northwest. ③ The mutation points of annual precipitation took place in 1972, 1976 and 1985, the mutation points of annual potential evaporation took place in 1962, 1968 and 1974, and that of annual average temperature took place in 1977. ④ The periods of the precipitation, potential evaporation and average temperature each year all have 17 years and 28 years.

Key words: precipitation; potential evaporation; mutation point; evolution characteristics; Weihe river basin

1 研究背景

自然环境变化, 尤其是全球气候变化, 逐渐变为世界各国学者密切关注和研究的问题^[1-2], 气候变化不单影响着水文循环、生物界和生态系统, 还影响着人们的经济、生活, 因此, 气候的变化对于地区、国

家乃至全球的可持续发展将产生不可忽视的影响^[3]。针对气候变化对水文循环的影响, 降水、气温及潜在蒸散是十分重要的影响因子。目前众多学者对气候要素的变化趋势和突变特征进行了研究。马艳敏等^[4]基于 100a 的东英格兰大学气候研究中心(CRU)气候要素资料, 采用 Arc-GIS 软件对数据

收稿日期: 2014-06-17; 修回日期: 2014-07-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(51190093, 51179148, 51179149); 陕西省重点科技创新团队项目(2012KCT-10); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-10-0933); 教育部博导基金(20116118110009)

作者简介: 雷江群(1990-), 女, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源工作。

进行整理,分析了松嫩平原百年(1901–2000)气候变化的时空特征,着重分析空间变化。周顺武等^[5]分析了雅鲁藏布江中游的夏季气候长期变化及其周期变化,并讨论了其气候突变问题。闫敏华等^[6]研究了三江平原的降水、气温、气压及日照时数4个气候要素的变化,并采用多种方法检测了其气候变化的突变现象。何毅等^[7]利用渭河流域12个气象站降水和气温资料,讨论分析了该流域降水和气温的空间分布特征及周期。左德鹏等^[8]采用渭河流域21个气象站逐日气象资料及各站潜在蒸散量,分析了各站年潜在蒸散量的长期变化趋势及突变特征。比较来看,对渭流域各气候要素的整体研究还相对较少,有待于进一步研究和探讨。

2 研究区域概况及数据

渭河为黄河最大支流,发源于甘肃鸟鼠山,涉及甘肃、宁夏、陕西三省,在陕西潼关注入黄河。流域干流全长818km,总面积13.5万km²,位于104°00'E–110°20'E和33°50'N–37°18'N之间。流域北部为黄土高原,南部为秦岭山区,地形自西向东逐渐变缓。该流域两岸支流较多,为不对称水系,泾河是最大的支流,北洛河为第二大支流。渭河流域地处干旱与湿润区过渡地带,属大陆性季风气候。年均气温6~14℃,年均降水量450~700mm,年均蒸发量1000~2000mm。

本文所采用降水、气温、湿度、气压、风速、日照时数、相对湿度等气象数据源自于中国气象数据共享服务网,潜在蒸散则是根据世界粮农组织(FAO)1998年修正的Penman–Monteith模型计算所得。以渭河流域及其周边区域21个气象站1960–2010年月资料为基础,把降水、潜在蒸散及气温3个气候要素年值作为研究对象,并将其加权平均到整个流域,以此作为分析该流域各气候要素演变特性的基础。该流域各气象站点分布见图1。

3 气候要素演变特性分析

3.1 气候要素时间变化分析

渭河流域年降水变差系数 C_v 为0.168,偏态系数 C_s 为0.637;年潜在蒸散 C_v 为0.053, C_s 为-0.586;年均气温 C_v 为0.088, C_s 为-0.932。该流域1960–2010年的年降水、年潜在蒸散及年均气温变化如图2至图4所示。回归分析结果显示,该流域年降水51a来以1.55mm/a线性趋势减少,年潜在蒸散以0.37mm/a线性趋势增加,年均气温多年

来变化幅度不大。

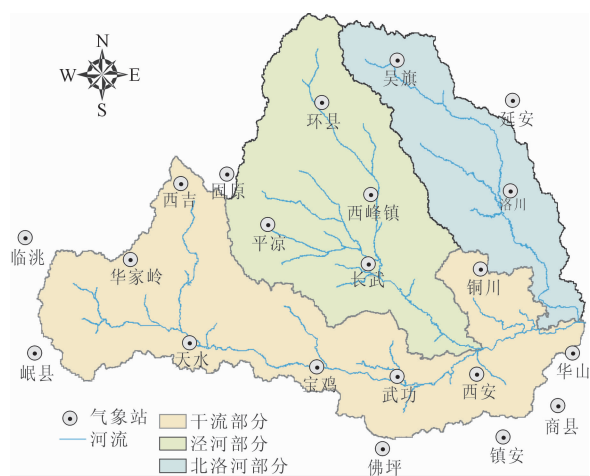


图1 渭河流域气象站点分布图

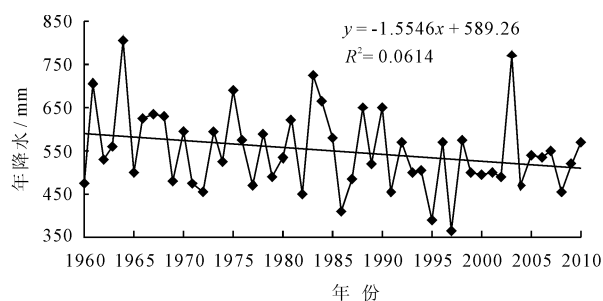


图2 渭河流域年降水变化曲线图

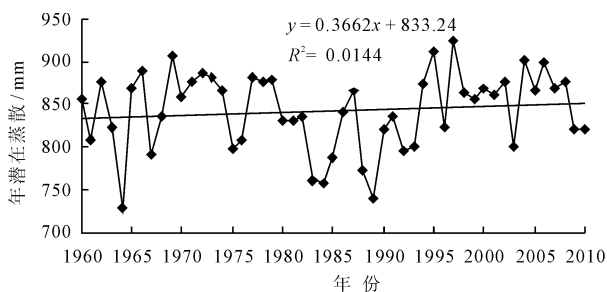


图3 渭河流域年潜在蒸散变化曲线图

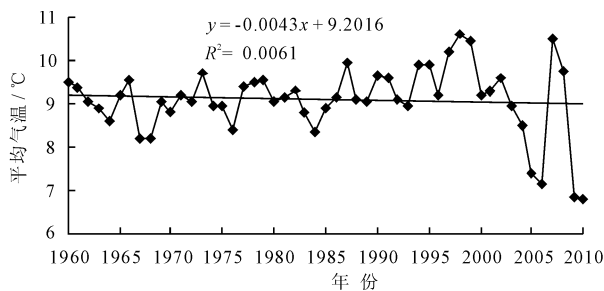


图4 渭河流域年均气温变化曲线图

3.2 气候要素空间变化分析

用Arcgis将渭河流域各站1960–2010多年平均降水、潜在蒸散及气温绘于该流域图中,如图5~图7所示。由图可看出:该流域年降水分布东多西

少,南多北少,呈现出由东南向西北逐渐减少的趋势;年潜在蒸散在东西向呈现出南北带状相间分布的规律;年均气温分布东高西低,南高北低,呈现出由东南向西北逐渐降低的趋势。由此可见,该流域年降水、年潜在蒸散及年均气温都存在明显的地域分布不均匀性。

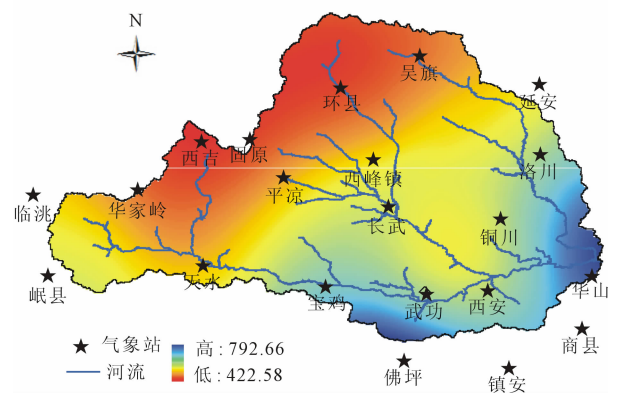


图 5 渭河流域年降水空间变化图

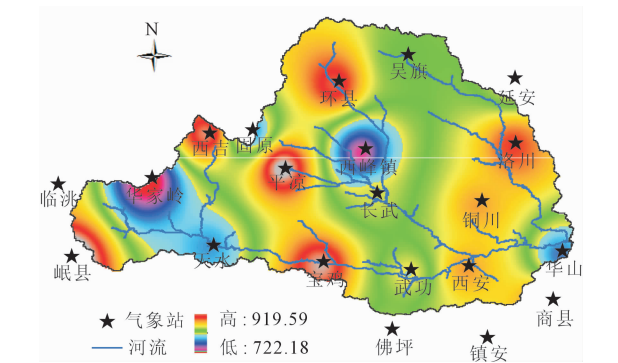


图 6 渭河流域年潜在蒸散空间变化图

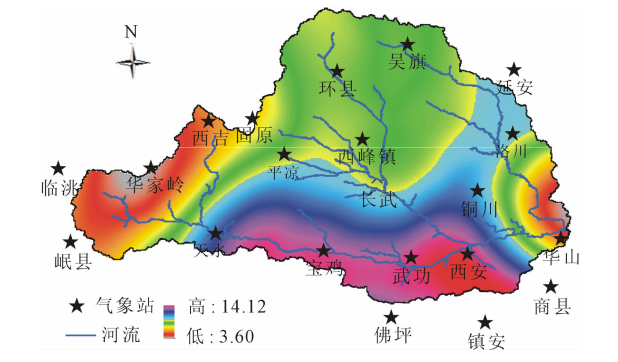


图 7 渭河流域年均气温空间变化图

3.3 气候要素趋势性分析

由 Mann 和 Kendall 提出,在各种时间序列的趋势分析法中,Mann - Kendall 检验法是广泛使用的非参数的检验法,常用在分析各种气候要素随时间变化的趋势上^[9-10]。其原理如下:

对于时间序列 $x_1, x_2, \cdots, x_n$, 计算出其所有的对

偶值 $(x_i, x_j, j > i)$ 中 $x_i < x_j$ 出现次数 d_i 。令检验统计量为 U :

$$U = \tau / [Var(\tau)]^{1/2} \tag{1}$$

$$\tau = \frac{4 \sum d_i}{n(n-1)} - 1 \tag{2}$$

$$Var(\tau) = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)} \tag{3}$$

令显著性水平 α 为 5%, 查出其在正态分布表中的临界值 $U_{\alpha/2} = 1.96$ 。当 $|U| > U_{\alpha/2}$ 时,拒绝原假设,即时间序列趋势显著;否则接受假设,即时间序列趋势不显著。若 $U > 0$,则说明时间序列有递增趋势;相反为递减趋势。

利用 Mann - Kendall 趋势检验法对渭河流域各气候要素进行检验,得出年降水的检验统计量 $U = -1.67 < 0, |U| = 1.67 < U_{\alpha/2} = 1.96$,说明该流域年降水有不显著的减少趋势;年潜在蒸散的检验统计量 $U = 0.50 > 0, |U| = 0.50 < U_{\alpha/2} = 1.96$,说明该流域年潜在蒸散有不显著的增加趋势;年均气温的检验统计量 $U = 0.82 > 0, |U| = 0.82 < U_{\alpha/2} = 1.96$,说明该流域年均气温有不显著的增加趋势。

3.4 气候要素突变分析

3.4.1 Mann - Kendall 法 本文采用 Mann - Kendall 法^[11]对各气候要素的突变情况进行检验。对有 n 个样本的时间序列 x ,构造出其秩序列:

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i, \quad (k = 1, 2, \cdots, n) \tag{4}$$

假设,当 $x_i > x_j$ 时, $r_i = 1$;当 $x_i \leq x_j$ 时, $r_i = 0, j = 1, 2, \cdots, i$ 。

并假定 x 随机独立,则定义统计量:

$$UF_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{Var(S_k)}}, \quad (k = 1, 2, \cdots, n) \tag{5}$$

式中:

$$E(S_k) = k(k-1)/4 \tag{6}$$

$$Var(S_k) = k(k-1)(2k+5)/72 \tag{7}$$

UF_i 是标准正态分布,令显著性水平 $\alpha = 5\%$,若 $|UF_i| > U_{\alpha/2}$,则 x 有明显的趋势变化。

再将 x 逆序排列,按上式计算,并使

$$UB_k = -UF_k \tag{8}$$

$$k' = n + 1 - k, \quad (k = 1, 2, \cdots, n) \tag{9}$$

通过分析统计量 UF_k 和 UB_k 再次分析 x 趋势的变化,可明确突变时间,并指出其突变时期。当其超过临界直线时,表明其上升或下降趋势显著。若 UF_k 和 UB_k 两条曲线有交点,且该交点在两临界直线之

间,则可确定交点对应时刻为突变时刻。

渭河流域年降水、年潜在蒸散及年均气温的 Mann - Kendall 检验分析结果如图 8 ~ 图 10 所示。由图可知:该流域年降水 UF 和 UB 两条曲线在 ± 1.96 之间并相交于 1972、1973、1976、1978、1981、1983 和 1985 年,即渭河流域年降水序列突变的起始时间是 1972 年;该流域年潜在蒸散突变点为 1962、1965、1967、1968、1974、2001、2009 和 2010 年;该流域年均气温突变点为 1977 年,突变点较单一。

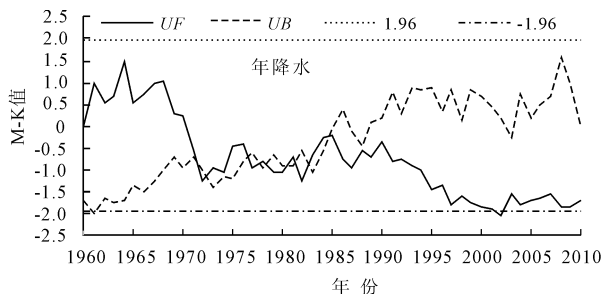


图 8 渭河流域年降水 M - K 曲线图

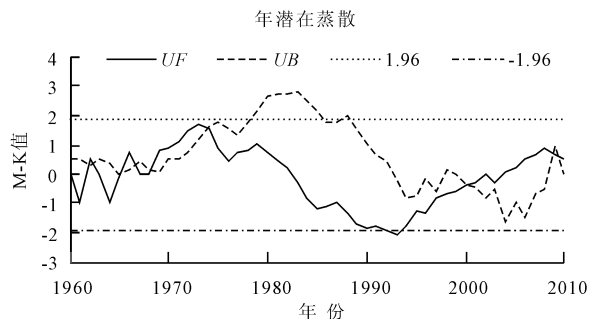


图 9 渭河流域年潜在蒸散 M - K 曲线图

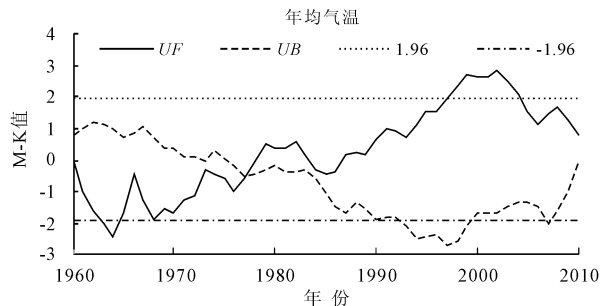


图 10 渭河流域年均气温 M - K 曲线图

3.4.2 累积距平法 累积距平法是可以直观判断某序列变化趋势的一种非线性统计法。对于序列 x , 某时刻 t 的累积距平值为:

$$\hat{x}_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}) \quad (10)$$

式中: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 。

计算出每个时刻的累积距平值,并绘制相应曲

线,再进行趋势分析。从曲线明显的上下起伏,可以判断某序列长时期演变趋势和持续性,也可以大致诊断出发生突变的时间^[12]。将该法与 Mann - Kendall 法相结合分析,可较为准确地删除不准确突变点,确定出准确的突变点。

渭河流域年降水、年潜在蒸散及年均气温的累积距平曲线如图 11 ~ 图 13 所示。由图可知:该流域年降水在 1972、1976 和 1985 年前后年降水的累积距平值变化趋势相反,将此结果与上节中 Mann - Kendall 法结果相结合分析,1972、1976 和 1985 年为年降水发生突变的年份;同理,1962、1968 和 1974 年为年潜在蒸散突变点;1977 年为年均气温突变点。

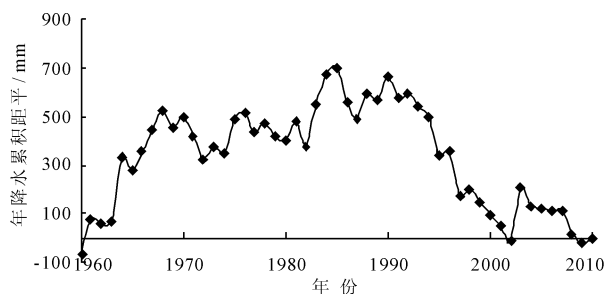


图 11 渭河流域年降水累积距平曲线图

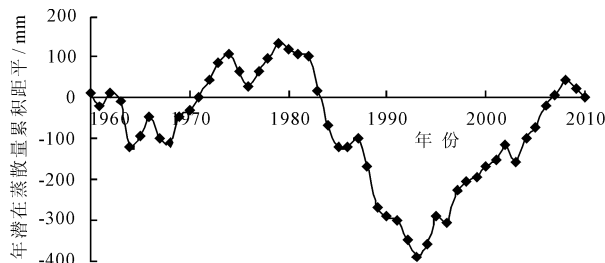


图 12 渭河流域年潜在蒸散量累积距平曲线图

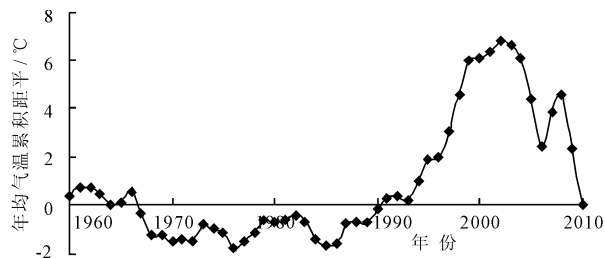


图 13 渭河流域年均气温累积距平曲线图

3.5 气候要素周期分析

为判断渭河流域各气候要素的主要周期,即对年降水、年潜在蒸散及年均气温的变化起主要作用的周期,本研究采用小波方差来检验周期,其计算公式为:

$$W_f(a) = \int_{-\infty}^{\infty} |W_f(a, b)|^2 db \quad (11)$$

式中: $W_f(a)$ 为小波方差; a 为尺度因子; b 为平移

因子; $W_f(a, b)$ 为小波系数。

小波方差图可以反映能量随尺度 a 的分布,并确定出时间序列中各种尺度扰动的相对强度,对应峰值处的时间尺度为该序列的主要尺度,用来反映时间序列的主要周期^[13]。

采用小波分析法绘制渭河流域年降水、年潜在蒸散及年均气温序列小波变换方差图,如图 14 至图

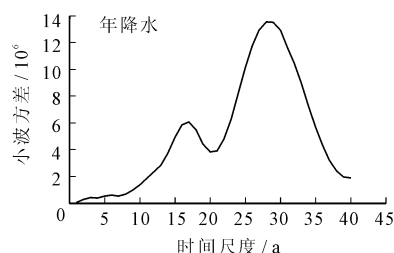


图 14 渭河流域年降水序列
小波变换方差图

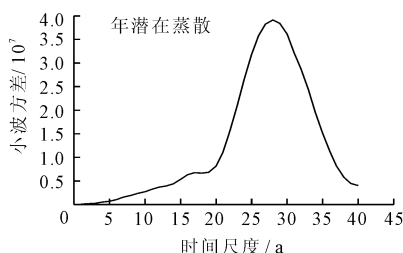


图 15 渭河流域年潜在蒸散序列
小波变换方差图

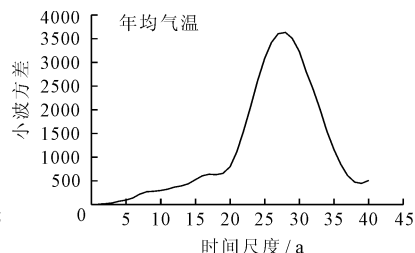


图 16 渭河流域年均气温序列
小波变换方差图

4 结 语

本文研究以渭河流域 21 个气象站 1960–2010 年的年降水、年潜在蒸散及年均气温为研究对象,首先利用气候倾向率法分析了各气候要素的时间和空间变化规律,其次,通过 Mann–Kendall 法、累积距平法、小波分析法对各气候要素的突变点及周期进行了分析,最后得到以下结果:

(1)从时间变化上看,渭河流域 51 年来年降水以 1.55 mm/a 线性趋势减少,年潜在蒸散以 0.37 mm/a 线性趋势增加,年均气温多年来变化幅度不大,且 3 种气候要素的变化趋势均不显著;

(2)从空间变化上看,该流域年降水分布东多西少,南多北少,呈现出由东南向西北逐渐减少的趋势;年潜在蒸散在东西向呈现出南北带状相间分布的规律;年均气温分布东高西低,南高北低,呈现出由东南向西北逐渐降低的趋势;

(3)根据 Mann–Kendall 和累积距平法检验分析,该流域年降水突变点为 1972、1976 和 1985 年;年潜在蒸散突变点为 1962、1968 和 1974 年;年均气温突变点为 1977 年;

(4)年降水、年潜在蒸散及年均气温序列小波方差均有 2 个峰值,分别对应 17 a 和 28 a 的时间尺度,第一峰值是 28 a,即 28 a 的周期振荡最强,为第 1 主周期,第 2 主周期为 17 a。

参考文献:

[1] 查小春. 全球气候暖干化对秦岭南北河流径流泥沙的

16 所示。由图可知:年降水序列小波方差有 2 个峰值,分别对应 17 a 和 28 a 的时间尺度,第一峰值为 28 a,说明年降水序列 28 年的周期振荡最强烈,为第 1 主周期,第 2 主周期为 17 a;同理,年潜在蒸散序列小波方差也有 2 个峰值,也分别对应 17 a 和 28 a 的时间尺度,与年降水周期相同;年均气温也有与年降水及年潜在蒸散相同的周期。

影响研究[J]. 干旱区研究,2002,19(3):62–66.

[2] 吴 静,王 铮,朱潜挺. 国际气候保护方案分析[J]. 安全与环境学报,2010,10(6):92–97.

[3] 张建云,王国庆,贺瑞敏,等. 黄河中游水文变化趋势及其对气候变化的响应[J]. 水科学进展,2009,20(2):153–158.

[4] 马艳敏,张丽娟,马 骏,等. 松嫩平原百年(1901–2000)气候要素空间变化分析[J]. 安全与环境学报,2012,12(3):127–133.

[5] 周顺武,假 拉,杜 军. 近 42 年西藏高原雅鲁藏布江中游夏季气候趋势和突变分析[J]. 高原气象,2001,20(1):71–75.

[6] 闫敏华,邓 伟,马学慧. 大面积开荒扰动下的三江平原近 45 年气候变化[J]. 地理学报,2001,56(2):159–170.

[7] 何 毅,王 飞,穆兴民,等. 渭河流域降水和气温的时空特征分析[J]. 水土保持通报,2012,32(4):102–105.

[8] 左德鹏,徐宗学,程 磊,等. 渭河流域潜在蒸散量时空变化及其突变特征[J]. 资源科学,2011,33(5):975–982.

[9] 宋小燕,穆兴民,高 鹏,等. 松花江流域哈尔滨站降雨径流历史演变及其驱动力分析[J]. 中国水土保持科学,2010,8(2):46–51.

[10] 毕彩霞,穆兴民,赵广举,等. 渭河流域气候变化与人类活动对径流的影响[J]. 中国水土保持科学,2013,11(2):33–38.

[11] 魏风英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.

[12] 杨 东,刘洪敏,郭盼盼,等. 1956–2008 辽宁省近 53 年的降水量变化[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(1):96–101.

[13] 邵晓梅,许月卿,严昌荣. 黄河流域降水序列变化的小波分析[J]. 北京大学学报(自然科学版),2006,42(4):503–509.