



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2016.02.011

李斌, 解建仓, 胡彦华, 等. 西安市近60年降水量和气温变化趋势及突变分析[J]. 2016, 14(2): 55-61.

LI Bin, XIE Jiancang, HU Yanhua, et al. Precipitation and temperature variations of Xi'an city in the recent 60 years[J]. 2016, 14(2): 55-61. (in Chinese)

西安市近60年降水量和气温变化趋势及突变分析

李斌^{1,2}, 解建仓¹, 胡彦华², 姜仁贵¹

(1. 西安理工大学 水利水电学院, 西安 710048; 2. 陕西省水利厅, 西安 710004)

摘要: 利用西安市1951年-2008年的降水和气温资料, 采用线性拟合、滑动 t 检验, 有序聚类, 曼肯德尔法对西安市近60年的降水量、气温等气象水文要素进行变化趋势及突变分析。首先, 采用线性拟合与距平百分率研究了西安市降水量和气温的变化趋势, 分析了降水日数和降水量变化特征, 最后, 采用有序聚类、滑动 t 检验和曼肯德尔对降水量和气温的突变性进行分析。趋势分析结果表明: 西安市年降水量总体呈下降趋势, 汛期降水占全年降水的58%, 降水量的年内分布很不均匀; 年平均气温、极端最低气温呈上升趋势。突变分析结果显示: 西安市降水量的突变点出现1958、1975和1980年; 年平均气温的突变点发生在1993年-1995年之间。

关键词: 西安市; 降水; 气温; 变化趋势; 突变分析

中图分类号: P467 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)02-0055-07

Precipitation and temperature variations of Xi'an city in the recent 60 years

LI Bin^{1,2}, XIE Jiancang¹, HU Yanhua², JIANG Renrui¹

(1. Faculty of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;
2. Shaanxi Provincial Department of Water Resources, Xi'an 710004, China)

Abstract: Using the data of precipitation and temperature of Xi'an city during 1951 to 2008, the paper analyzed the variation trends and abrupt changes of hydro-meteorological factors including precipitation and temperature using linear fitting, sliding t test, ordered clustering and Mann-Kendall methods. Firstly, the variation trends of precipitation and temperature were analyzed using linear fitting and anomaly percentage, and then the characteristics of number changes of rainy days and precipitation were analyzed. Finally, the abrupt changes of precipitation and temperature were investigated using sliding t test, ordered clustering and Mann-Kendall methods. The results showed that the precipitation decreased gradually. 58% of annual precipitation was during the flood season and the precipitation distribution was uneven in the year. The annual mean temperature and extreme minimum temperature increased. The abrupt changes of the precipitation were detected in 1958, 1975 and 1980, and the abrupt changes of annual average temperature were found between 1993-1995.

Key words: Xi'an city; precipitation; temperature; variation trend; abrupt change analysis

受气候变化和人类活动等变化环境的影响, 降水和气温等气象水文要素随之发生变化。我国幅员

收稿日期: 2015-09-11 修回日期: 2015-09-17 网络出版时间: 2016-04-14

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160414.1503.029.html>

基金项目: 国家自然科学基金(51509201; 51479160; 41471451); 陕西省教育厅科研计划(15JK1503)

Fund: National Natural Science Foundation of China(51509201; 51479160; 41471451); Scientific Research Plan Projects of Shaanxi Education Department(15JK1503)

作者简介: 李斌(1980-), 男, 陕西西安人, 高级工程师, 主要从事水利信息化方面研究。E-mail: 157506520@qq.com

通讯作者: 解建仓(1963-), 男, 陕西眉县人, 教授, 博士生导师, 主要从事水利信息化、GIS及智能决策系统方面研究。E-mail: jxcjie@mail.xaut.edu.cn

辽阔,不同区域的自然地理和气候条件存在较大差异,使得不同区域降水类型及与之相关的气温、蒸发等气候要素呈现出多样性。如何对降水和气温等气候水文要素变化趋势的研究对科学认识因环境变化引起的降水量等气象水文要素的影响机制以及区域的水资源管理具有重要的意义。诸多学者针对上述问题开展研究,并取得许多有益的成果,姚惠明等^[1]利用动态泰森多边形模型计算评价了 1951 年—2006 年中国降水演变趋势,分别从全国尺度和区域尺度研究了降水量时间与空间尺度上的分布情况,并对不同时段降水量震荡周期、演变与突变趋势进行分析。结果表明:中国近期年降水量在环渤海湾 600 mm 的降水量等值线南移,100°E 以西地区年降水量普遍增多;区域尺度上,不同地区降水量变化趋势存在差异。冯强等^[2]研究了我国降雨的时空分布特征以及与降水相关的暴雨洪涝灾害的变化特征。陈隆勋等^[3]通过近 40~50 年的中国降水研究表明,全国年降水量呈减少趋势,但西部降水量增长趋势明显。王英等^[4]通过研究认为中国北方有从干旱到湿润转变的迹象。张建云等^[5]针对中国洪涝干旱灾害频发的现状,对变化环境下北方水资源问题进行研究,结果发现:尽管北方地区近几年降水量有所增加,但仍然低于多年平均值。冯新灵等^[6]对基于 1953 年—2002 年中国 722 个台站的降水量数据,采用 R/S 方法分析了中国不同区域年降水的气候变化趋势及其突变情况,结果表明:中国五大区年降雨日都存在减少趋势,未发现年降雨日由减少转为增加的突变点。王小玲等^[7]采用 506 个测站的逐日降水资料分析我国 8 个区域年降水量、平均降水强度和年降水频率的变化趋势,研究发现:年降水量、平均降水强度和年降水频率存在显著的区域变化特征,趋势变化主要由频率的趋势产生。多位学者^[8-13]从应对气候变化、灾害风险管理等角度分析流域降水的变化趋势。上述文献主要从全国和流域的角度对降水的变化特征进行研究,区域层面上的分析相对较少,此外,研究集中在对降水量和降水频率上,对气温等气象水文要素分析较少。

西安是古代丝绸之路的起点,在“一路一带”建设中处于十分重要的位置。由于自然与人为的因素,水资源不足和水环境问题严重制约着西安经济的发展,近年来受变化环境的影响,暴雨洪涝等极端气候事件频发广发,造成严重的经济损失,降水变化是暴雨的关键驱动因子,为此,通过对西安市近年来降水和气温变化趋势与突变情况的分析有助于加强对区域暴雨的科学认识与有效防范。以西安市为研

究区域,国内学者已经针对降水变化特征问题开展研究,文聘等^[14]认为降水变化是区域水资源变化的重要影响因素,为此,通过对西安及附近地区降水量时空变化规律的分析对全面了解区域内水资源和经济状况具有重要的作用,研究结果表明:时间上,春季西安市降水存在明显的下降趋势,空间上,西安市降水量从南至北呈现下降趋势,从西向东呈现上升趋势,此外,西安及附近地区年及四季降水基本存在着 16 年和 18 年左右的主周期;宋令勇等^[15]采用 Manir Kendall 对西安地区 7 个县降水量时空分布和变化规律进行分析,结果表明:西安地区自 1961 年以来降水时空分布不均匀,主要集中在夏秋季节。本文在前人研究基础上,以西安市长系列(1951 年—2008 年)降水和气温资料为研究对象,重点分析近 60 年来西安市降水和气温变化趋势和突变情况,以期为该区域的防洪减灾和城市发展提供参考。

1 数据与方法

1.1 数据资源

本文选用西安气象站气象资料^[16-17],包括 1951 年—2008 年的年降水量、月降水量,年平均气温、极端最高气温、极端最低气温等要素。为保证数据质量,在计算前,对数据的完整性、一致性进行了检验,并且进行了极值筛选工作,以确保数据的真实性、准确性、可靠性。四季时段按气象部门的标准划分,即春季 3 月—5 月,夏季 6 月—8 月,秋季 9 月—11 月,冬季 12 月月—次年 2 月。根据陕西省防汛抗旱手册^[18],西安的汛期为:6 月—9 月。

1.2 研究方法

采用线性拟合分析降水和气温年际变化趋势,采用滑动 t 检验,有序聚类法、曼-肯德尔法等计算近 60 年来西安市降水和气温的突变时间。

(1) 滑动 t 检验。

滑动 t 检验通过考察两组样本平均值的差异是否显著来检验突变,把一序列中两段子序列均值有无显著差异看作来自两个总体均值有无显著差异的问题来检验。如果两个子序列的均值差超过一定显著性水平,可以认为有突变发生。对于时间序列 x ,设置某一基准点,基准点将序列分为 x_1, x_2 两个子序列,样本容量分别为 n_1, n_2 ,均值分别为 \bar{x}_1, \bar{x}_2 方差分别为 s_1^2 和 s_2^2 。定义统计量^[19]:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (1)$$

给定显著性水平 α , 查 t 分布表得到 t_α , 如果 $|t_i| < t_\alpha$, 则认为基准点前后两子序列均值无显著差异, 否则认为在基准点时刻出现突变。

(2)有序聚类法。

有序聚类方法是多元统计分析中针对有序序列的一种统计分类方法。其基本思想是将整个序列看作一个整体, 然后根据同类之间离差平方和最小, 不同类之间离差平方和最大原则来推求序列的最优分割点也就是突变点。具体计算如下^[20]:

设可能突变的点为 τ , 则突变前后的离差平方和分别为:

$$V_\tau = \sum (x_i - \bar{x}_\tau)^2 \quad (2)$$

$$V_{n-\tau} = \sum (x_i - \bar{x}_{n-\tau})^2 \quad (3)$$

式中: \bar{x}_τ 和 $\bar{x}_{n-\tau}$ 分别为 τ 前后两部分水文序列的均值, 则总离差的平方和为:

$$S_n(\tau) = S_n(\tau) = V_\tau + V_{n-\tau} \quad (4)$$

当 $S_n(\tau) = \min[S_n(\tau)] (2 \leq \tau \leq n-1)$, τ 为最优分割点, 即推断为突变点。

(3)曼-肯德尔法。

曼-肯德尔法是一种非参数统计检验方法, 其优点在于样本不需要遵从一定的分布, 也不受少数异常值的干扰, 结构简单, 计算简便。对于具有 n 个样本量的时间序列, 构造一秩序列:

$$s_k = \sum_{i=1}^k r_i, k = 2, 3, \dots, n, \quad (5)$$

$$其中 r_i = \begin{cases} +1, & 当 x_i > x_j \\ 0, & 当 x_i \leq x_j \end{cases}, j = 1, 2, \dots, n$$

秩序列 s_k 是第 i 个时刻数值大于 j 时刻数值的累积数。

在时间序列随机独立的假定下, 定义统计量

$$UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{var(s_k)}}, k = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

式中: $UF_1 = 0$; $E(s_k)$ 、 $var(s_k)$ 是累积数 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, $E(s_k)$ 、 $var(s_k)$ 可由式(6)计算:

$$\begin{cases} E(s_k) = \frac{k(k-1)}{4} \\ var(s_k) = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \end{cases} K = 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

按时间序列 x 逆序, 再重复以上过程, 同时使 $UB_k = -UF_k (k = n, n-1, \dots, 1)$, $UB_1 = 0$ 。如果两条曲线出现交叉点, 并且交叉点在临界线之间, 交点对应的时刻可能就是突变发生的开始时间。

2 结果分析

2.1 降水量变化趋势分析

西安年均降水量为 572.3 mm, 降水最多的年

份是 1983 年, 为 903.2 mm; 最少年份为 1995 年, 为 312.2 mm, 最多年降水量和最少年降水量相差为 591 mm。其他多雨年份为 2003 年 883.2 mm、1958 年 839.2 mm、1952 年 795.0 mm。其他少雨年份为 1977 年为 346.1 mm、1997 年 362.0 mm、1959 年 384.4 mm。

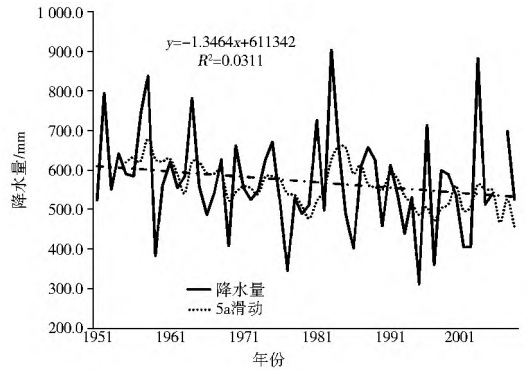


图 1 1951 年- 2008 西安降水量变化趋势
Fig. 1 The variation of precipitation in Xi'an city during 1951-2008

图 1 为西安降水量变化趋势图。由图可知: 降水量总体上呈现减少趋势, 大于平均值年数和小于平均值年数分别为 25 a 和 32 a, 最大年值降水量为平均值的 1.58 倍, 最大年值降水量为最小值的 2.89 倍。

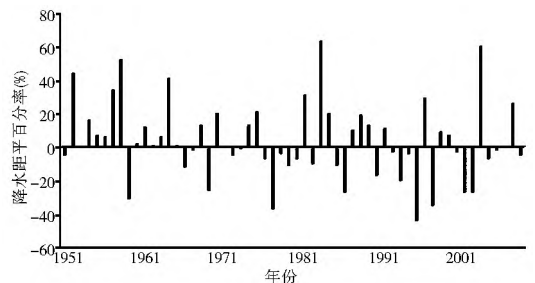


图 2 1951 年- 2008 西安降水距平百分率
Fig. 2 The precipitation anomaly percentage in Xi'an city during 1951-2008

图 2 为西安降水距平百分率。由图可知: 降水量的负距平值介于 -260~ -10 之间, 正距平值在 11.8~ 331 之间, 降水量距平百分率在 -44~ +63 之间。反映出西安降水的年际变化差异较大, 年际变化幅度大。

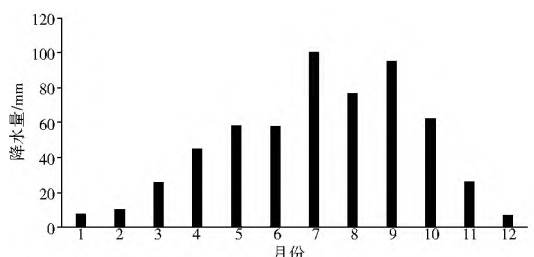


图 3 西安平均降水量的年内变化特征
Fig. 3 The characteristics of inter-annual precipitation in Xi'an city

西安多年平均降水量的年内变化见图 3。由图可知: 1951 年- 2008 年西安降水量的年内分布很不均匀。1 月、2 月、3 月, 11 月, 12 月的降水百分比小于 14%; 4 月、5 月、10 月的降水百分比为 1% ~ 24%; 6 月、7 月、8 月, 9 月的降水百分比为 1% ~ 47%。降水主要分布在 6 月- 9 月, 其平均降水量占全年降水量的为 17. 6%, 13. 4%, 16. 7%, 10. 9%。夏季降水占全年降雨的 17% ~ 61%, 平均为 41%。汛期降水占全年降水的 39% ~ 80%; 平均为 58%。特别是 1957 年, 7 月份降水量 344. 4 mm, 占全年降水量的 46. 3%; 2007 年, 7 月份降水量 254. 4 mm, 占全年降水量的 36. 4%。

2.2 气温变化趋势分析

图 4 为西安年平均气温趋势曲线。西安多年平均气温为 13. 7℃。2007 年的距平值最大, 超过 57 a 平均气温 1. 9℃, 其年均气温为 15. 6℃; 1951 年的距平值最小, 低于 57 a 平均气温 1. 9℃, 其年均气温为 11. 8℃。共有 32 a 的气温距平值为负, 25 a 的气温距平值为正。从 1986 年- 2008 年的 21 a 中, 除 1988, 1989, 1992 和 1993 年以外, 其余 17 a 气温的距平值均大于 0。这些表明 1986 年以来气温呈现上升的趋势。

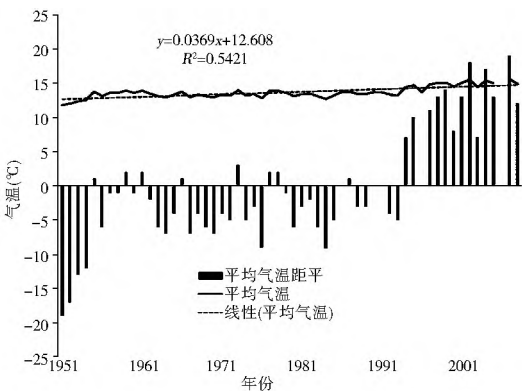


图 4 西安年平均气温趋势

Fig. 4 The variation of annual mean temperature in Xi'an city during 1951-2008

图 5 为西安年极端气温变化趋势。由图可知: 极端最高气温略有下降的趋势, 极端最低气温有增加的趋势。

2.3 降水日数和降水量变化特征

图 6 为西安有效降水日数年内分布。由图可知: 1951 年至 2008 年来, 西安总共降雨 5 302 d; 平均年降水天数 93 d。降水天数最多的为 1964 年, 降水天数为 138 d; 降水天数最少的为 1995 年, 降水天数为 59 d。最多降水天数是平均降水天数的 1. 5 倍, 最多降水天数为最少降水天数的 2. 4 倍。

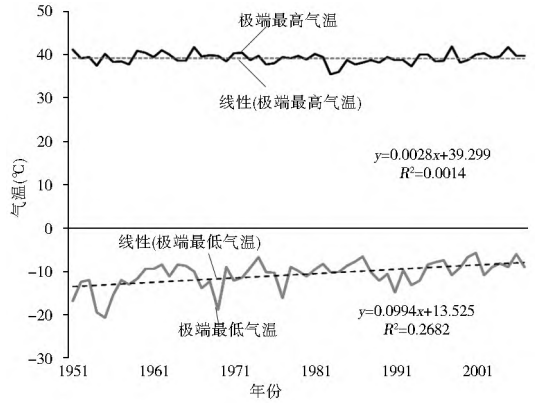


图 5 西安年极端气温变化趋势

Fig. 5 The variation of extreme temperatures in Xi'an city

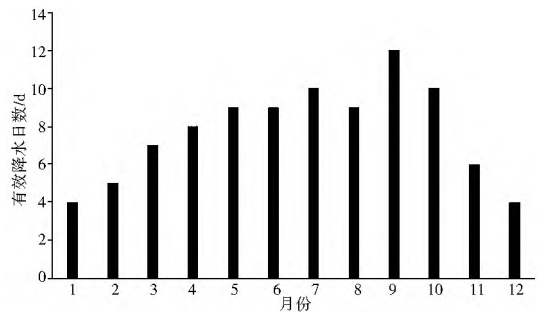


图 6 西安有效降水日数年内分布

Fig. 6 The distribution of inter-annual effective precipitation days in Xi'an city

2.4 降水量和气温突变分析

对一些物理机制目前还不甚明确的突变现象, 若使用的检测方法不当, 可能会得出错误结论, 因此在确定某气候系统或过程发生突变现象时, 通常使用多种方法进行比较^[19]。本文采用有序聚类、滑动 t 检验、曼肯德尔方法进行突变分析, 通过对采用不同方法计算得到的结果进行对比分析验证方法的有效性。

2.4.1 降水量突变分析

(1) 有序聚类。

由有序聚类推求最可能干扰点 τ , 其实质是求最优分割点 $S_n(\tau)$, 使同类之间离差平方和最小, 而类与类之间离差平方和较大。1958 年对应的 $S_n(\tau)$ 为整个序列最小值, 为最可能的变异点。1975 年, 1984 年对应的 $S_n(\tau)$ 为局部最小值, 也可能是变异点(图 7(a))。

(2) 滑动 t 检验。

图 7(b) 中为西安降水序列滑动 t 统计量曲线。 $n = 57, n_1 = n_2 = 5$ 给定显著性水平 $\alpha = 0.01$, 按照 t 的分布自由度, $v = 8, t_{0.01} = \pm 1.86$ 。从 1951 年以来, t 的统计量有 3 次超过 0.01 显著性水平, 1958 年、1975 年、和 1980 年。表明西安降水自 20 世纪

50 年代以来,出现了多次明显的突变。20 世纪 50 年代至 50 年代末,降水有所增加;20 世纪 70 年代中期降水经历了一次由增加加到减少的转变;20 世

纪 80 年代初年代年经历了一次由减少到增加的转变。综合分析:经多次调试,确定突变年份为 1958、1975、1980 年。

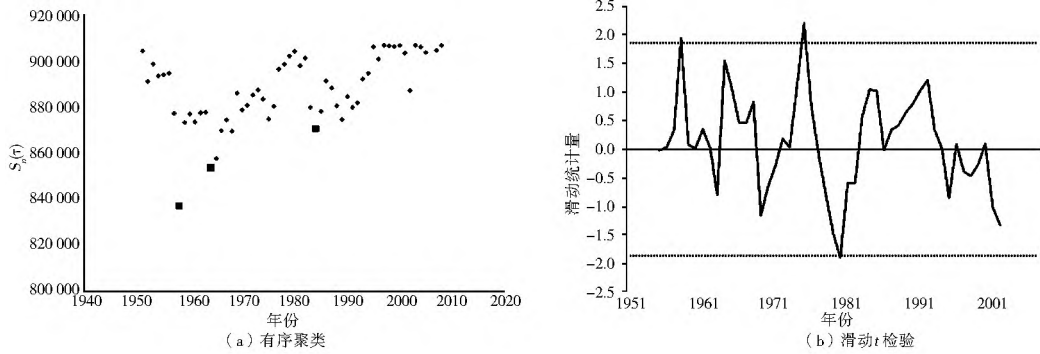


图 7 西安降水量的突变分析

Fig. 7 Mutation analysis on annual precipitation of Xi'an city

2.4.2 平均气温突变分析

(1) 有序聚类。

西安市平均气温序列离差平方和 $S_n(\tau)$ 曲线见图 8(a)。由图可知:西安 1951 年-2008 年的离差平方和 $S_n(\tau)$ 曲线在 1993 年出现最低,突变点可能在 1993 年。

(2) 滑动 t 检验。

西安平均气温滑动 t 统计量曲线见图 8(b)。图中为西安平均气温滑动 t 统计量曲线。 $n=57, n_1=n_2=8$, 给定显著性水平 $\alpha=0.01, \alpha=0.001$, 按照 t 的分布自由度, $v=n_1+n_2-2=14, t_{0.01}=\pm 2.98, t_{0.001}=\pm 4.14$ 。从 1951 年以来, t 的统计量有 8 次超过 0.01 显著性水平, 有 5 处极值, 1962 年、1970 年、1978 年、1993 年和 1996 年。 t 的统计量在 1993 年、1996 年次超过 0.001 显著性水平。说明西安平

均气温自 20 世纪 50 年代以来,出现了两次明显的突变。20 世纪 60 年代经历了一次由增加到降低的转变, 20 世纪 90 年代气温经历了一次由降低到增加的转变。

(3) 曼肯德尔分析。

图 8(c) 西安平均气温曼肯德尔统计量曲线。由图可知:20 世纪 50 年代到 60 年代初期, 气温呈现增加的趋势; 20 世纪 60 年代到 80 年代中期; 气温呈现波动中减少的趋势; 20 世纪 80 年代中期后, 气温呈现明显的增加趋势。特别是 1998 年以来, 这种减少的趋势大大的超过了显著性水平 0.01 的临界线。这些表明西安气温近 20 多年增加的趋势是十分显著的。在 90 年代, 两条曲线有一个交点。根据 UF 和 UB 这两条曲线交点的位置, 确定该气温增加这一突变现象, 发生在从 1995 年左右。

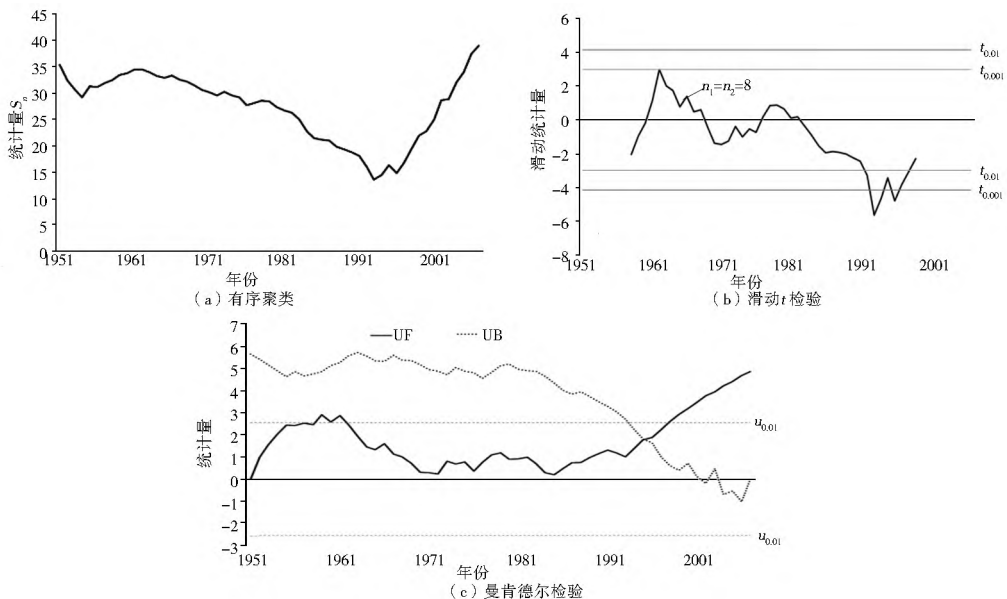


图 8 西安平均气温的突变检验

Fig. 8 Mutation analysis on annual average temperature of Xi'an city

综合分析: 1951 年- 2008 年西安市气温序列变异点发生在 1993 年- 1995 年之间。

3 讨论

(1) 西安近 60 年降水变化分析结果表明: 西安降水量的年际变化总体上呈波动变化, 并且呈现下降的趋势; 降水主要分布在 6 月- 9 月, 降水年内分布不均, 夏季降水占全年降雨的 17%~ 61%, 平均为 41%。汛期降水占全年降水的 39%~ 80%, 平均为 58%。在做好防汛减灾的同时, 应进一步考虑对雨水资源的合理利用, 考虑对雨洪资源的调蓄, 充分利用雨水为生态景观、园林绿化等服务, 促进社会经济的可持续协调发展。

(2) 西安是历史古都, 也是大型的现代化都市。西安降雨高度集中在汛期和夏季, 年降水量往往集中在几次大的降雨过程中。2014 年, 国务院正式批复陕西设立西咸新区, 西咸新区建设全面展开。在新区建设中, 同时要考虑降雨时空分布不均的影响, 统筹做好防洪工程、排水设施等建设, 科学规划设计, 合理布局, 做到人与自然和谐共生。

(3) 尽管西安降水量呈现下降趋势, 但是从近几年实测资料来分析, 该区域暴雨频发广发, 有多点并发的特征。2013 年 7 月, 2015 年 4 月、8 月的强降水造成城区多处积水, 交通拥堵。这些应引起防汛、气象、市政等部门高度重视, 应进一步加强监测手段, 提高防汛预警能力和快速反应能力。

4 结论

(1) 西安年降水量为约为 572 mm, 平均年降水天数 93 d, 近年降水量的总体上呈减少趋势。降水量的年内分布很不均匀, 夏季降水占全年降雨的 41%, 汛期降水占全年降水的 58%。

(2) 西安多年平均气温为 13.7 °C, 近 20 年来, 气温呈现逐年上升的趋势, 极端最低气温也呈现上升的趋势。

(3) 1950 年- 2008 年, 西安降水量发生突变年份为 1958 年、1975 年和 1980 年, 西安平均气温序列突变点发生在 1993 年- 1995 年之间。

参考文献(References):

[1] 姚惠明, 吴永祥, 关铁生, 等. 中国降水演变趋势诊断及新事实[J]. 水科学进展, 2013, 24(1): 1-10. (YAO Hui ming, WU Yong xiang, GUAN Tie sheng, et al. Diagnose of precipitation evolution trend in China and new fact[J]. Advances in Water Science, 2013, 24(1): 1-10. (in Chinese))

[2] 冯强, 王昂生, 李吉顺. 我国降水的时空变化与暴雨洪涝灾害

[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(01): 89-95. (FENG Qiang, WANG Ang sheng, LI Ji shun. The variation of precipitation in time and space and heavy rain flood disaster in China[J]. Journal of Natural Disasters, 1998, 7(01): 89-95. (in Chinese))

[3] 陈隆勋, 邵永宁, 张清芬, 等. 近四十年来中国气候变化的初步分析. 应用气象学报, 1991, 2(2): 164-173. (CHEN Long xun, SHAO Yong ning, ZHANG Qing fen, et al. Preliminary analysis of climate change Chinese for the last forty years[J]. Journal of Applied Meteorology, 1991, 2(2): 164-173. (in Chinese))

[4] 王英, 曹明奎, 陶波, 等. 全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征[J]. 地理学报, 2006, 25(6): 1031-1040. (WANG Ying, CAO Ming kui, TAO Bo, et al. Spatial variation of precipitation Chinese pattern under the background of global climate change[J]. Journal of Geographical Sciences, 2006, 25(6): 1031-1040. (in Chinese))

[5] 张建云, 贺瑞敏, 齐晶, 等. 关于中国北方水资源问题的再认识[J]. 水科学进展, 2013, 24(3): 303-310. (ZHANG Jian yun, HE Rui min, Qi Jing, et al. A new perspective on water issues in North China[J]. Advances in Water Science, 2013, 24(3): 303-310. (in Chinese))

[6] 冯新灵, 罗隆诚, 冯自立, 等. 中国近 50 年降水变化趋势及突变的 Hurst 指数试验[J]. 干旱区地理, 2009, 32(6): 859-866. (FENG Xin ling, LUO Long cheng, FENG Zi li, et al. Hurst index experiment on precipitation change trend and mutation of China in the near 50 years[J]. Arid Land Geography, 2009, 32(6): 859-866. (in Chinese))

[7] 王小玲, 翟盘茂. 1957~ 2004 年中国不同强度级别降水的变化趋势特征[J]. 热带气象学报, 2008, 24(5): 459-466. (WANG Xiao ling, ZHAI Pan mao. Changes in China's precipitation in various categories during 1957~ 2004[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2008, 24(5): 459-466. (in Chinese))

[8] 高宇, 袁喆, 袁勇, 等. 近 50 年黑河流域降水变化特征分析[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(5): 16-21. (GAO Yu, YUAN Zhe, YUAN Yong, et al. Analysis of precipitation variation in the Heihe River in recent 50 years[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(5): 16-21. (in Chinese))

[9] 王刚, 严登华, 张冬冬, 等. 海河流域 1961 年-2010 年极端气温与降水变化趋势分析. 南水北调与水利科技, 2014, 12(1): 1-6. (WANG Gang, YAN Deng hua, ZHANG Dong dong, et al. Trend analysis of variations in extreme precipitation and temperature in the Hai River Basin from 1961 to 2010[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(1): 1-6. (in Chinese))

[10] 雷廷, 张兆吉, 费宇红, 等. 海河平原 1956 年-2011 年降水特征分析[J]. 水科学进展, 2014, 12(1): 32-36. (LEI Ting, ZHANG Zhao ji, FEI Yu hong, et al. Analysis of precipitation characteristics in the Haihe River plain from 1956 to 2011[J]. Advances in Water Science, 2014, 12(1): 32-36. (in Chinese))

[11] 杜华明, 延军平, 杨登兴, 等. 嘉陵江流域降水变化及早涝多时间尺度分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(5): 836-844. (DU Hua ming, YAN Jun ping, YANG Deng xing, et al. The distribution of precipitation and multitemporal scales drought

- flood analysis in the Jialing River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(5): 836-844. (in Chinese)
- [12] 刘慧荣,周维博,李云排,等. 清涧河流域近 50 年降水变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(5): 124-130. (LIU Hui rong, ZHOU Wei bo, LI Yun pai, et al. Analysis of variation characteristics of precipitation in Qingjian river basin during recent 50 years[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2013, 24(5): 124-130. (in Chinese))
- [13] 张皓,冯利平. 近 50 年华北地区降水量时空变化特征研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(2): 270-278. (ZHANG Hao, FENG Li ping. Characteristics of spatio-temporal variation of precipitation in North China in recent 50 years[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(2): 270-278. (in Chinese))
- [14] 文聘,沈冰,黄领梅,等. 西安及附近地区降水量时空变化规律分析[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(1): 42-46. (WEN Pin, SHEN Bing, HUANG Ling mei, et al. Analysis of temporal and spatial distribution rule of precipitation in Xi'an[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2012, 23(1): 42-46. (in Chinese))
- [15] 宋令勇,宋进喜,张文静,等. 西安地区降水时空分布及变化规律分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(1): 85-89. (SONG Ling yong, SONG Jin xi, ZHANG Wen jing, et al. Temporal and spatial distribution and long term variation trend of precipitation in Xi'an[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(1): 85-89. (in Chinese))
- [16] 中国气象科学数据共享服务网,中国地面国际交换站气候资料年值数据集(1951-2012年). [EB/OL]. [2013-10-10] <http://cdc.cma.gov.cn>. (China Meteorological DataSharing services System. China surface Annual climatological data[EB/OL]. [2013-10-10]<http://cdc.cma.gov.cn>. (in Chinese))
- [17] 中国气象科学数据共享服务网,中国地面国际交换站气候资料月值数据集(1951-2012年). [EB/OL]. [2013-10-10] <http://cdc.cma.gov.cn>. (China Meteorological DataSharing services System. China surface monthly climatological data[EB/OL]. [2013-10-10]<http://cdc.cma.gov.cn>. (in Chinese))
- [18] 陕西省防汛抗旱总指挥部办公室. 陕西省防汛抗旱手册[Z]. 2004. (The Office of Flood Control and Drought Relief Headquarters of Shaanxi Province. Manual of Shaanxi provincial flood control and drought relief[Z], 2004. (in Chinese))
- [19] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测[M]. 北京: 气象出版社, 2007. (WEI Feng ying. Modern Climatological Statistics and Forecasting Technique[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 58-65. (in Chinese))
- [20] 肖洁,罗军刚,解建仓,等. 渭河干流径流年际及年内变化趋势分析[J]. 人民黄河, 2012, 34(11): 32-36. (XIAO Jie, LU Jun gang, XIE Jian cang, et al. Analysis on interannual and annual variation trend of runoff in the main stream of Weihe River[J]. Yellow River, 2012, 34(11): 32-36. (in Chinese))

(上接第 43 页)

- [2] 刘纪远,张增祥,庄大方. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12. (LIU Ji yuan, ZHANG Zeng xiang, ZHUANG Da fang. A study on the spatio-temporal dynamic changes of land use and driving forces analyses of China in the 1990s[J]. Geography Research, 2003, 22(1): 1-12 (in Chinese))
- [3] 于兴修,杨桂山. 中国土地利用/覆被变化研究的现状与问题[J]. 地理科学进展, 2002, 21(1): 51-57. (YU Xing xiu, YANG Gui shan. The advances and problems of land use and land cover change research in China[J]. Progress in Geography, 2002, 21(1): 51-57. (in Chinese))
- [4] 刘纪远,张增祥,徐新良,等. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1411-1420. (LIU Ji yuan, ZHANG Zeng xiang, XU Xin liang, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(12): 1411-1420. (in Chinese))
- [5] 邵景安,李阳兵,魏朝富,等. 区域土地利用变化驱动力研究前景展望[J]. 地球科学进展, 2007, 22(8): 798-809. (SHAO Jing an, LI Yang bing, WEI Chao fu, et al. The drivers of land use change at regional scale assessment and prospects[J]. Progress in Geography, 2007, 22(8): 798-809. (in Chinese))
- [6] 许月卿,彭建. 贵州猫跳河流域土地利用变化及其对土壤侵蚀的影响[J]. 资源科学, 2008, 30(8): 1218-1225. (XU Yue qing, PENG Jian. Effects of simulated land use change on soil erosion in the Maotiao River Watershed of Guizhou Province[J]. Resources Science, 2008, 30(8): 1218-1225. (in Chinese))
- [7] 李鹏杰,何政伟,李璇琼. 基于 RS 和 GIS 的土地利用/覆被动态变化监测——以九龙县为例[J]. 水土保持研究, 2012, 12(2): 39-42. (LI Peng jie, HE Zheng wei, LI Xuan qiong. Dynamic monitoring on land utilization / land coverage in Kowloon county based on RS and GIS[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 12(2): 39-42. (in Chinese))
- [8] 王秀兰,包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81-87. (WANG Xiulan, BAO Yuhai. Study on the methods of land use dynamic change research[J]. Progress in Geography, 1999, 18(1): 81-87. (in Chinese))
- [9] 张靖,同丽嘎,董建军,等. 土地利用/覆盖变化研究方法[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2013, 44(3): 329-336. (ZHANG Jing, TONG Li ga, DONG Jian jun, et al. A review on methods of land use and land cover change[J]. Journal of Inner Mongolia University (Natural Science Edition), 2013, 44(3): 329-336. (in Chinese))
- [10] Gong J, Chen W, Liu Y, et al. The intensity change of urban development land: Implications for the city master plan of Guangzhou, China[J]. Land Use Policy, 2014, Vol. 40, 91-100.
- [11] 赵时英. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003. (ZHAO Ying shi. Theory and Method of Remote Sensing Application Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese))
- [12] 周兆叶,储少林,王志伟,等. 基于 NDVI 的植被覆盖度的变化分析以甘肃省张掖市甘州区为例[J]. 草业科学, 2008, 12, 25(12): 23-29. (ZHOU Zhao ye, CHU Shaolin, WANG Zhiwei, et al. Analysis of vegetation coverage change based on NDVI: A case study in Ganzhou area, Zhangye city, Gansu. Pratacultural Science, 2008, 12, 25(12): 23-29. (in Chinese))