

晋北地区降水量时空变化及突变分析

蔡霞¹, 蔡琳², 李春华³, 吴占华¹

(1.朔州市气象局, 山西朔州 036002; 2.山东省菏泽学院, 山东菏泽 274000; 3.忻州市气象局, 山西忻州 034000)

摘要: 利用晋北地区18个台站1960—2008年的月降水资料, 对其降水量的时空变化特征进行了分析。结果表明: 年、夏季和秋季降水量总体上呈下降趋势; 春季和冬季降水呈增加趋势。从空间分布特征来看, 年和四季降水量由北向南逐渐增多。年降水量的线性趋势系数大部分台站表现为负值; 而春季各站均为正值; 夏季仅繁峙为正值; 秋季西南部为负值, 东北部为正值; 冬季18个台站正负均等。采用M-K突变曲线、滑动 t 检验法、累积距平法三种气候突变检验方法对晋北地区降水的统计检验结果均表明, 年降水在1979年发生了由多到少的一个跃变; 春季在1964年附近和1991年发生由多到少的转折; 夏季1996年是由多到少的一个明显转折点。

关键词: 晋北地区; 降水; 突变分析

中图分类号: S161.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)02-0247-08

晋北地区是我国黄土高原的重要组成部分, 全区平均海拔高度1 200~1 800 m, 黄土广泛分布, 地貌类型复杂多样, 干旱多风沙, 是我国遭受沙化严重的地区。其行政区划涉及山西的大同、朔州、忻州三个地级市。是山西省能源、矿产等资源的集中分布区, 人类活动对自然生态系统的干扰最剧烈, 土壤沙化严重, 晋北地区也是我国农牧交错地带, 生态环境十分脆弱。从气候角度上说, 晋北地区是东亚季风区的西北边缘地带, 受季风影响, 降水量的年际变化及年代际变化存在较大的差异。近50年来该区气温呈明显的上升趋势, 降水量呈减少的趋势, 暖干化气候加重了土壤沙化, 也给当地农业生产等国民经济带来很大损失。

因此, 仔细研究晋北地区在气候变暖的大背景下干旱发生的规律、造成干旱的天气气候成因对干旱的监测和预测是十分必要的。有学者已对我国黄土高原气候变化作了有关研究^[1-2], 还有学者针对华北区域气候变化、气候预测进行了有关研究^[3-6], 尤其是华北地区的旱涝规律及其成因进行了大量的研究^[7-13]。但是目前专门针对晋北地区降水变化研究的报道还很少。

本文利用全区的降水资料对该区的干旱发生规律进行详细的诊断分析, 以寻找其成因, 并进而研究干旱的预测方法。这对认识该地区旱涝异常成因会有帮助, 为短期气候预测提供理论依据。

1 资料和方法

1.1 资料

选用山西省北部18个站点1960—2008年的逐月降水资料, 根据该地区气候特征, 3—5月为春季, 6—8月为夏季, 9—11月为秋季, 12—翌年2月为冬季。

1.2 研究方法

所采用的方法包括: 线性趋势法、Mann-Kendall法(以下简称为MK检验法)、滑动 t 检验法和累积距平法。

1.2.1 Mann-Kendall 方法 Mann-Kendall法(简称M-K法)是一种非参数统计检验方法^[14], 其优点是不需要样本遵从一定的分布, 也不受少数异常值的干扰, 更适用于类型变量和顺序变量, 计算也比较简便, 而且可以明确突变开始的时间, 并指出突变区域。方法是对于具有 n 个样本量的时间序列 x , 构造一秩序列:

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

秩序列 S_k 是第 i 时刻数值大于 j 时刻数值个数的累计数。在时间序列随机独立的假设下, 定义统计量:

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

式中: $UF_1 = 0$, $E(S_k)$, $\text{Var}(S_k)$ 是累计数 S_k 均值和方差, 给定显著性水平(取 $\alpha = 0.05$, 则 $U_{0.05}$

收稿日期: 2011-11-04

基金项目: 山西省气象局青年课题(SXKQNQH20116255)

作者简介: 蔡霞(1975—), 女, 山西朔州人, 理学学士, 工程师, 主要从事预报分析及短期气候预测、气候变化研究工作。E-mail: caixi-aqx@sina.com。

$= \pm 1.96$), 当 $|UF_k| > U_\alpha$ 时, 表明序列存在明显的增长或减少趋势。所有 UF_k 将组成一条曲线 U_F 。把同样的方法引用到反序列中, 得到另一条曲线 U_B 。如果 U_F 的值大于 0, 则表明序列呈上升趋势, 小于 0 则表明呈下降趋势。如果 U_F 和 U_B 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。

1.2.2 滑动 t 检验方法 滑动 t 检验方法是通过考察两组样本平均值的差异是否显著来检验突变。基本思想是: 把一气候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。如果两段子序列的均值差异超过了一定的显著性水平, 则可以认为有突变发生。即把一连续的随机变量 X 分成两个子样本集 x_1 和 x_2 , 让 x_i, s_i^2 和 n_i 分别代表 x_i 的平均值、方差和样本长度 ($i = 1, 2$)。其中 n_i 根据需要人为地设定长度。定义一统计

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \times \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$其中: s = \sqrt{\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

上式遵从自由度 $v = n_1 + n_2 - 2$ 的 t 分布。由于子序列长度的选择带有人为性, 易造成突变点的漂移, 因此, 要反复变动子序列长度进行比较, 以增进检验结果的可靠性。本文选择子序列长度分别为 7、10 a 和 12 a。给定显著性水平 t_α , 如果 $|t| \geq t_\alpha$, 即说明两随机样本平均值存在着显著性差异, 认为有突变现象存在。

1.2.3 累积距平 累积距平也是一种常用的, 由曲线直观判断变化趋势的方法。对于序列 x 其某一时刻 t 的累积距平表示为:

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

式中, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 将 n 个时刻的累积距平值全部算出, 即可绘出累积距平曲线进行趋势分析。累积距平曲线比较直观, 从曲线明显的上下起伏, 可以判断其长期显著的演变趋势及持续性变化, 甚至还可以诊断出发生突变的大致时间^[15]。绘出 n 个时刻的累积距平值, 便可以对序列的变化趋势进行分析, 其转折点可判断序列的突变过程。

2 降水的时间变化特征

2.1 降水的年际变化特征

由图 1 的线性拟合趋势可以看出, 1960—2008 年晋北地区的降水变化幅度不大, 总体上呈下降趋

势, 线性减少率为 4.46 mm/10a, 未通过显著性检验。其中 1960—1974 年降水量波动比较剧烈, 1975—1986 年趋于平缓, 1987 年以后呈现稍微上升的趋势。从 9 a 滑动平均曲线(粗斜线)可以看出平均降水量随时间呈现减少的趋势, 在 1980 年代以前降水由多变少, 1980 年代中期降水降到这个时期的最低点。经过 1990 年代的短暂上升后, 进入 90 年代后期降水呈减少趋势。

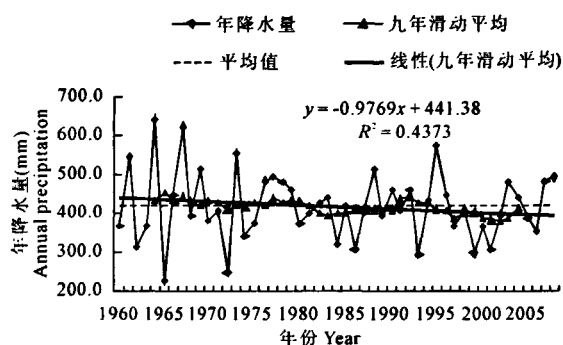


图 1 1960—2008 年晋北年平均降水量逐年变化

Fig. 1 Annual precipitation in Northern Shanxi during 1960—2008

2.2 四季降水的年际、年代际变化特征

晋北四季降水的年际、年代际变化特征有较大的区别, 本文对四季降水量作了 9 a 滑动平均和线性倾向估计(图 2)。

从图中可看出, 1960—2008 年春季降水量略有上升的趋势, 降水量变化波动较大。1971—1979 年和 1992—1997 年春季降水量低于历年平均值, 其余各年在平均值附近上下波动。从 9 a 滑动平均曲线看, 春季的降水量基本呈多雨—少雨—多雨—少雨的波动状态, 变化较为平稳。20 世纪 60 年代到 60 年代中期为多雨期, 60 年代后期到 80 年代初为明显少雨期; 80 年代中期开始到 90 年代中期进入相对多雨时段, 但从 90 年代末至今又转入少雨期(图 2a)。

夏季降水趋势略有下降, 1960—1975 年夏季降水量在平均值上下波动, 1976—1982 年开始上升, 之后 1983—1993 年呈现下降趋势, 1994—1996 年有一个短暂的升幅, 随后 1997—2008 年又降于平均值以下。年代变化特征为: 20 世纪 60 年代初到 70 年代中期为相对少雨期, 70 年代中期到 80 年代初为明显多雨期; 80 年代中期开始进入少雨时段, 除 90 年代初到中期为一短暂多雨期, 其余时段降水较常年偏少(图 2b)。

秋季的降水变化呈下降趋势。1960—1978 年降水量曲线在平均值附近呈较大幅度的波动, 1979—1994 年开始呈明显的减少趋势。1995 年之后略有

上升,但总体来说还是呈现一种下降态势。从9年滑动平均来看:20世纪到60年代初到70年代末为多雨期,整个80年代为一明显少雨期,从90年代开始9年滑动曲线稍有上升,但秋季降水仍保持一个相对少雨期(图2c)。

冬季降水略有上升趋势。降水量曲线呈周期震荡波动,1960—1969年在平均值附近上下波动,1970—1978年降水量略有增加趋势,1979—1983年有一短暂降幅,之后的1984—1990年又呈现上升趋势,进入90年代1991—1998年降水量开始减少,1999—2008年降水量迅速增加。冬季降水量80年代之前的几次升降变化,存在1~2 a的短期振荡周

期,从90年代开始显著地减少,在1995、1996年达到低谷后出现大幅回升。从9 a滑动平均来看降水呈少雨—多雨—少雨—多雨的波动状态,60年代多雨少雨的年份基本相等,70年代为一多雨期,整个80年代到90年代末期为明显少雨期,90年代末至今转为多雨期(图2d)。

晋北地区春季和冬季降水呈增加趋势,夏季和秋季呈减少趋势,四季降水量增加和减少的整体趋势都不是很显著。四季降水的贡献率分别为:春季14.7%,夏季63.2%,秋季20.2%,冬季1.8%,可以看出降水的季节分配极不均匀,年降水减少的趋势主要由夏季降水的减少所引起。

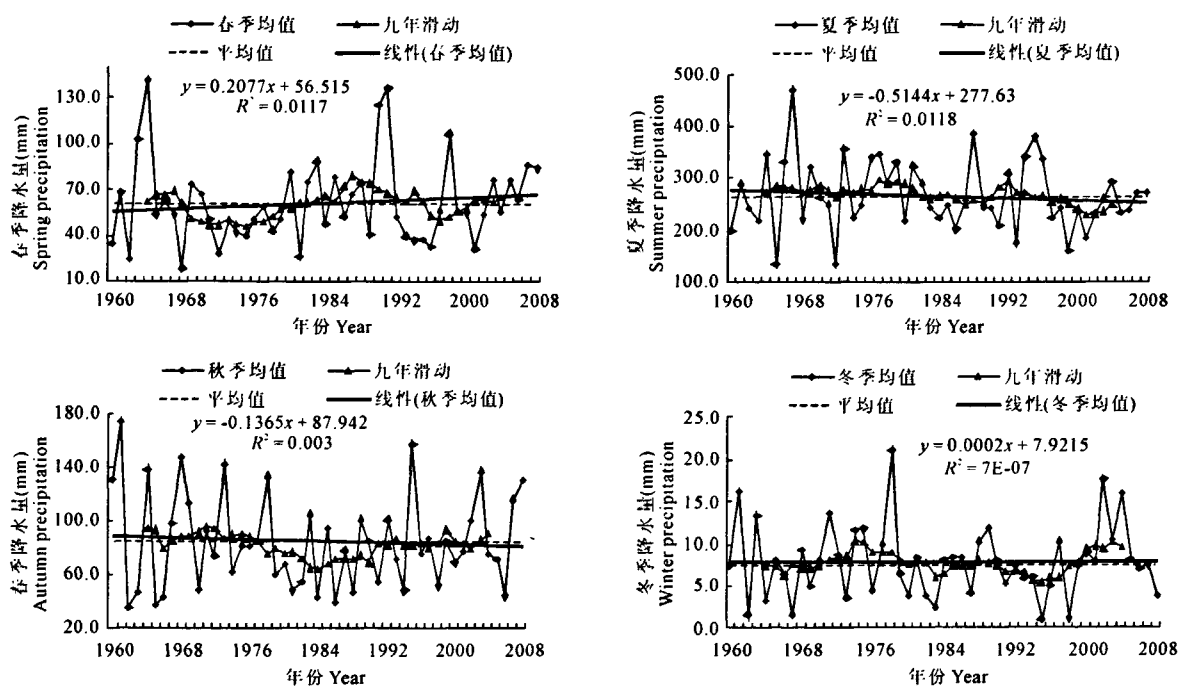


图2 1960—2008 晋北地区四季降水量逐年变化

Fig.2 Seasonal precipitation anomalies in Northern Shanxi during 1960—2008

3 降水的空间分布特征

3.1 年降水量的空间分布

从年降水量等值线(图3)可以看出,年降水量呈现出南多北少的分布特点。18个台站年降水线性趋势系数(图4)仅朔州、繁峙、五寨为正值,其余各站均为负值。

3.2 四季降水量的空间分布

从四季降水量等值线(图5)可以看出,四季降水量分布都呈现出由南部(忻州)向北中部大同、朔州减少的趋势。

晋北地区18个台站各季降水的线性趋势系数

如图6所示,由图可见春季降水趋势系数18个台站均为正值,最大值右玉为0.5。夏季降水线性趋势系数仅繁峙为正值,其余各站均为负值。说明自1960年以来,夏季降水均处在减少的趋势,干旱较为明显,尤其是平鲁、广灵、灵丘负趋势最为明显,这与全球变暖,东亚夏季风年代际变化趋于减弱的结论是一致的^[16]。秋季西南部线性趋势系数为负值,东北部大同、浑源、广灵、灵丘、朔州、繁峙、五寨线性趋势系数为正值,负趋势的台站多于正趋势台站,降水有减少的趋势。冬季线性趋势系数正负均等。但是各季无论增加还是减少的趋势都未通过显著性检验。

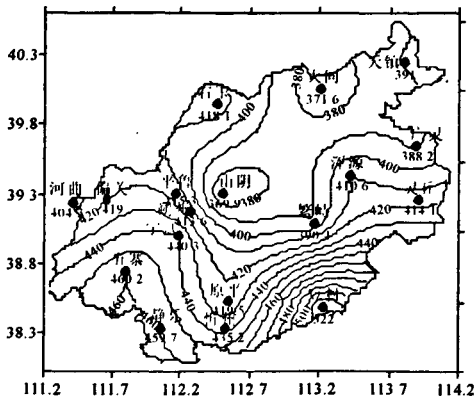
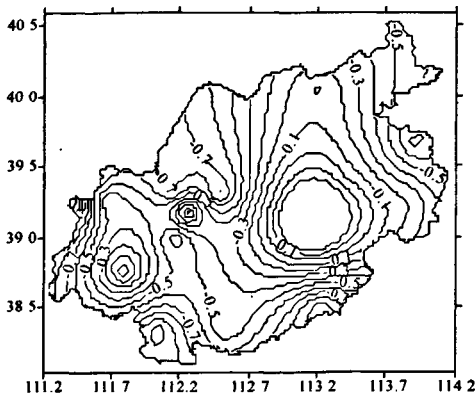


图 3 晋北地区年降水量等值线图 (mm)
Fig.3 Distribution of annual precipitation in Northern Shanxi



1999 和 2004 年。

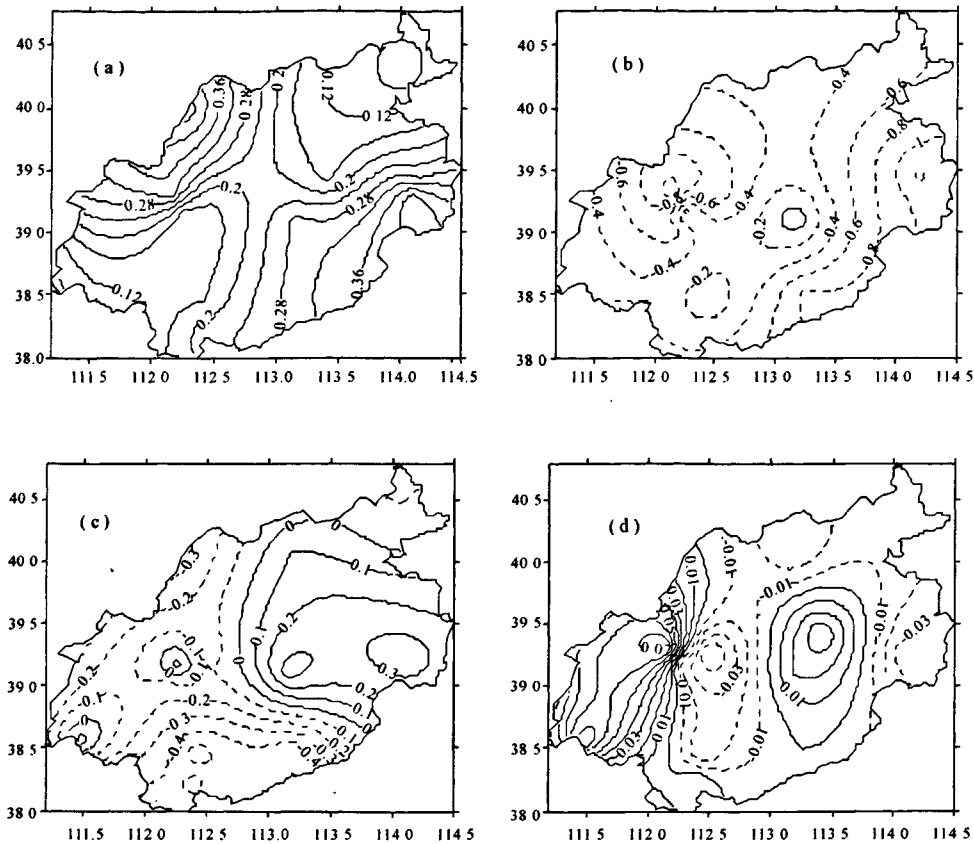


图 6 晋北地区 18 个台站春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)四季降水的线性趋势系数

Fig.6 Linear change trend of seasonal precipitation in Northern Shanxi in Spring(a), Summer(b), Autumn(c), and Winter(d)

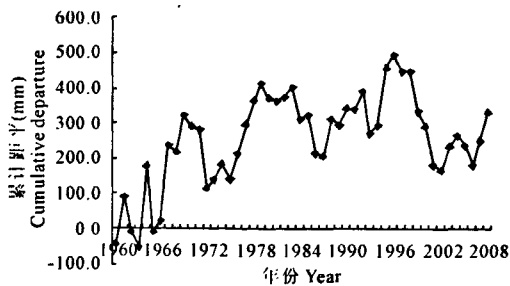


图 7 晋北地区年降水量累积距平曲线

Fig.7 The departure curve of cumulative annual precipitation in Northern Shanxi

4.2 年降水量突变分析

根据年平均降水对晋北地区降水进行突变分析,绘制出正向序列(UF)和反向序列(UB)曲线,并给定显著水平: $\alpha = 0.05$,临界值为 ± 1.96 (图 9 中两条虚线)。当统计曲线超过临界值时,表明上升或下降趋势显著,如果统计曲线在临界线之间出现交点,则交点对应的时刻就是突变开始的时间。

晋北地区年平均降水量 M-K 曲线(图 9),正向序列(UF)曲线表明晋北地区地区年降水量在 1967 年之前呈现一个周期性波动,1967—1971 年、

1976—1983 年 1991—1992 年和 1995—1998 年 UF 曲线大于 0,表明在这一时期,年平均降水量呈上升趋势,1984 ~ 1990 年和 1998 年以后呈现下降趋势,进入一个相对干旱的时期。在 1960—1961、1964、1973、1992—1993 年有短暂上升趋势,1974—1975 年、1993—1994 年有短暂下降趋势。虽然在 ± 1.96 临界线之间 UF 和 UB 曲线相交于 1962、1979 附近,但是 UF 未超过信度线,说明降水量虽出现减少趋势但并不十分显著。对晋北地区年降水量转折年(1979 年)前后不同时段做滑动 t 检验,通过了 $\alpha = 0.01$ 的信度水平检验。与前文分析一致,说明 1979 年是降水由多到少的一个跃变点。

4.3 四季降水量的突变分析

在春季降水 M-K 曲线图(10)中,UF 曲线和 UB 曲线存在多个交点。UF 和 UB 在 ± 1.96 临界线之间相交于 1964 年附近、1991 和 2005 年,对晋北地区春季降水量转折年(1964、1991 年)前后做滑动 t 检验,分别通过了 $\alpha = 0.01$ 的信度水平检验,与前文分析一致,说明春季平均降水量在 1964 年附近和 1991 年发生由多到少的转折,但没有明显的突变点。在夏季降水 M-K 曲线中,UF 和 UB 曲线相交于 6 点,

分别为 1986、1990、1992、1996 年左右和 2007 年左右。对晋北地区夏季降水量转折年(1996 年)前后不同时段做滑动 t 检验通过了 $\alpha = 0.01$ 的信度水平检验,与前文分析一致,说明 1996 年是降水由多到少的一个明显转折点。秋季降水 M-K 曲线中,UF

和 UB 曲线始终未超过信度线,这种变化趋势不显著。UF 和 UB 相交于 1962、1967、1969、1973 和 2003 年,可能突变的点为 5 个,但均未通过滑动 t 检验。由冬季降水 UF 曲线可见,UF 曲线始终未超过信度线。表明这一系列的变化不存在突变现象。

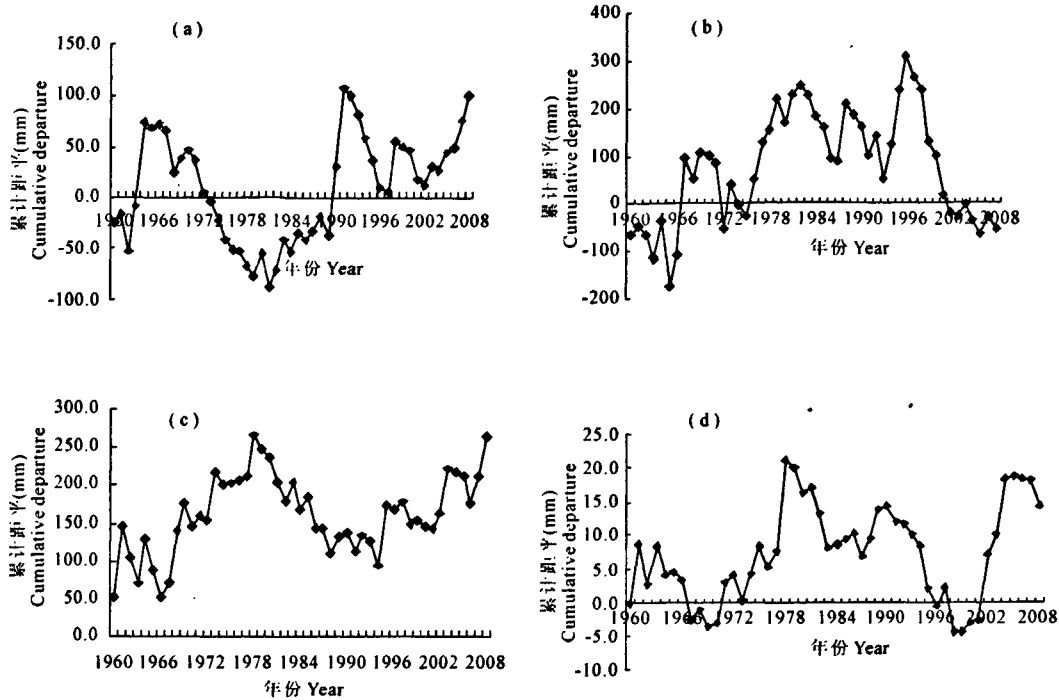


图 8 晋北地区降水量累积距平曲线(a)春季(b)夏季(c)秋季(d)冬季

Fig. 8 The departure curve of cumulative precipitation in Northern Shanxi in Spring (a), Summer (b), Autumn (c), and Winter (d)

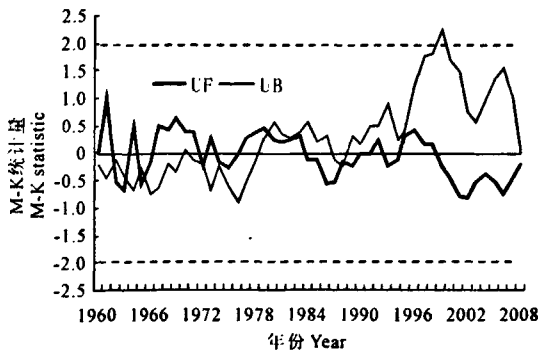


图 9 晋北地区年降水量 M-K 曲线

Fig. 9 The M-K curve of annual precipitation in Northern Shanxi

5 结 论

1) 1960—2008 年晋北地区的年降水变化幅度不大,总体上呈下降趋势,线性减少率为 4.46 mm/10a。春季和冬季降水呈增加趋势,夏季和秋季呈减少趋势,但四季降水量增加和减少的整体趋势都不是很显著。四季降水的贡献率分别为:春季 14.7%,夏季 63.2%,秋季 20.2%,冬季 1.8%,可以看出降水的季节分配极不均匀,年降水减少的趋势

主要由夏季降水的减少所引起。

2) 年和四季降水量空间分布都一致呈现出南多北少的特点,年降水线性趋势系数仅朔州、繁峙、五寨为正值,其余各站均为负值,说明年降水处于减少的趋势。春季降水趋势系数均为正值,降水处于增加的趋势;夏季降水线性趋势系数仅繁峙为正值,其余各站均为负值,说明自 1960 年以来,夏季降水均处在减少的趋势,干旱较为明显,尤其是平鲁、广灵、灵丘负趋势最为明显;秋季西南部线性趋势系数为负值,东北部大同、浑源、广灵、灵丘、朔州、繁峙、五寨线性趋势系数为正值,负趋势的台站多于正趋势台站,降水有减少的趋势;冬季线性趋势系数正负均等。

3) 利用累积距平、M-K 突变分析及滑动 t 检验 3 种气候突变检验方法对晋北地区年降水、四季降水的统计检验结果均表明,晋北地区年降水在 1979 年发生了由多到少的一个跃变;春季降水在 1964 年附近和 1991 年发生由多到少的转折;夏季降水 1996 年是由多到少的一个明显转折点;秋季和冬季降水未通过检验。

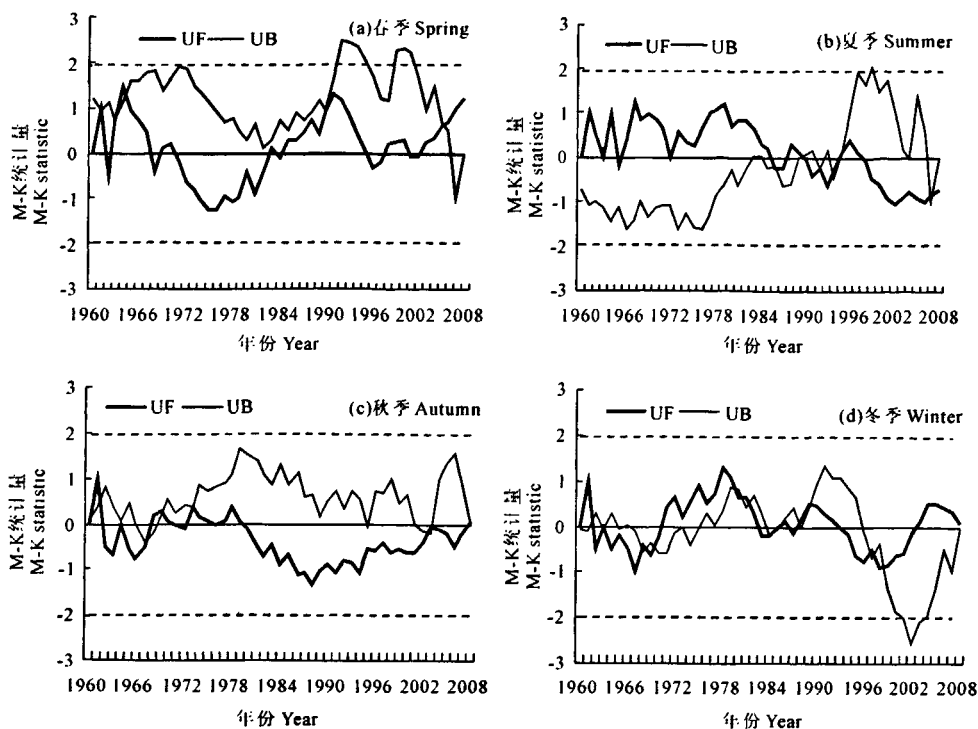


图 10 晋北地区过去 49 年四季春季(a)夏季(b)秋季(c)冬季(d)降水量 M-K 曲线

Fig.10 The M-K curve of seasonal precipitation in Northern Shanxi in Spring (a), Summer (b), Autumn (c), and Winter (d)

参考文献:

[1] 叶燕华,郭江勇,王 风.黄土高原春季降水的气候特征分析[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):11-17.
[2] 张春林,赵景波,牛俊杰.山西黄土高原近 50 a 来气候暖干化研究[J].干旱区资源与环境,2008,22(4):70-74.
[3] 张庆云,卫 捷,陶诗言.近 50 a 华北干旱的年代际和年际变化及大气环流特征[J].气候与环境研究,2003,8(3):307-318.
[4] 魏凤英,张京江.华北地区干旱的气候背景及其前兆强信号[J].气象学报,2003,61(3):354-367.
[5] 陈烈庭.华北各区夏季降水年际和年代际变化的地域性特征[J].高原气象,1999,18(4):477-485.
[6] 黄荣辉,徐子红,周连章.我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J].高原气象,1999,18(4):465-476.
[7] 孙 燕,王谦谦,钱永甫.华北地区夏季降水与全球海温异常的关系[J].高原气象,2006,25(6):1127-1138.
[8] 郝立生,闵锦忠,姚学祥.华北地区夏季降水减少的原因分析[J].干旱区研究,2007,24(4):522-527.

[9] 宋 燕,季劲钧.六十年代亚非夏季风十年尺度的突变[J].大气科学,2001,25(2):200-208.
[10] 夏洪星.华北东部地区干旱分布特征[J].气象,1996,22(11):35-40.
[11] 周晓霞,丁一汇.影响华北汛期降水的水汽输送过程[J].大气科学,2008,32(2):346-357.
[12] 张 健,章新平,王晓云,等.近 47 a 来京津冀地区降水的变化[J].干旱区资源与环境,2010,24(2):74-80.
[13] 赵声蓉,宋正山.华北汛期旱涝与中高纬大气环流异常[J].高原气象,1999,18(4):535-540.
[14] 施雅风,沈水平,李栋梁,等.中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J].第四纪研究,2003,23(2):152-164.
[15] 刘昌明,郑红星.黄河流域水循环要素变化趋势分析[J].自然资源学报,2003,18(2):129-135.
[16] 郭其继,蔡静宁,邵雪梅,等.1873—2000 年东亚夏季风变化的研究[J].大气科学,2004,28(2):206-215.

Analysis of characteristics of precipitation variation and mutation in Northern Shanxi

CAI Xia¹, CAI Lin², LI Chun-hua³, WU Zhan-hua¹

(1. Shuozhou Meteorological Bureau, Shuozhou, Shanxi 036002, China; 2. Heze University, Heze, Shandong 274000, China; 3. Xinzhou Meteorological Bureau, Xinzhou, Shanxi 034000, China)

Abstract: Based on the monthly precipitation data from 1960—2008 of 18 observation stations of Northern Shanxi, the spatial-temporal variation characteristics of precipitation are analyzed. The main results are as follows: The annual precipitation and the precipitation in summer and autumn is holistically in an increase trend, while the precipitation in spring and winter is holistically in a decrease trend. From the variations of spatial distribution, the annual and the seasonal precipitation increases gradually from the north to the south. The linear trend coefficients of annual precipitation are negative in most stations, but positive for the whole study area in spring, only positive in Fanshi in summer, negative in the southwestern region and positive in the northeastern region in autumn, with an equipotent probability of positive and negative in winter. The jumps are examined with methods including Mann-Kendall test, moving *t*-test and cumulative anomaly. The results show that an obvious abrupt change point in 1979 can be detected. From that time on, the annual precipitation begins to decline evidently. The abrupt change time in spring is near 1964 and 1991, while it is 1996 in summer.

Keywords: Northern Shanxi; precipitation; mutation analysis

(上接第 224 页)

- [28] 晋王强,南忠仁,刘晓文,等.金昌市郊农田土壤 Cu, Zn, Ni 形态分布特征与生物有效性评价[J].环境化学,2010,29(2): 221-225.
- [29] 马成玲,周建民,王火焰,等.农田土壤重金属污染评价方法研究—以长江三角洲典型县级市常熟市为例[J].生态与农村环境学报,2006,22(1):48-53.
- [30] Li S L, Li X D, Shi W Z, et al. Metal contamination in urban, sub-urban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics[J]. Science of the Total Environment, 2006,356:45-61.
- [31] Jose' A R M, Manuel L A, Jose' M G C. Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain)[J]. Environmental Pollution,2006,144:1001-1012.
- [32] Nicholson F A, Smith S R, Alloway B J, et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales[J]. The Science of the Total Environment,2003,311:205-219.

Characteristics and evaluation of heavy metal pollution in soil of farmland around Baoji Second Power Plant

LI Xiao-xue, LU Xin-wei, REN Chun-hui, CHEN Can-can, WANG Li-jun, LUO Da-cheng

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: Thirty four soil samples were collected from farmland around Baoji Second Power Plant. The concentrations of Cu, Pb, Zn, Co, Cr, Mn, Ni and V in the soil samples were analyzed by using X-Ray fluorescence spectrometry. The contamination level and ecological risk of heavy metals in soil were assessed by Nemerow synthetical pollution index method and Hakanson potential ecological risk index method. The results show that the concentrations of Cu, Pb, Zn, Co, Cr, Mn, Ni and V in soil from farmland around Baoji second power plant were higher than the background values of corresponding elements of surface soil in Shaanxi Province. The concentrations of Cr and Mn had a similar space changing tendency and there was no significant difference in the space concentration distribution for other five heavy metals. The contamination level of Cu, Pb, Zn, Co, Cr, Mn, Ni and V and the heavy metals synthetical contamination level in soil were low. The potential ecological risk level of Cu, Pb, Zn, Co, Cr, Mn, Ni and V in soil was low, while the total potential ecological risk level of heavy metals in soil was middle.

Keywords: power plant; surface soil; heavy metal pollution; ecological risk; evaluation