

# 鲁南地区降水量长期变化趋势 对干旱的影响

张美玲

(山东滕州市气象局, 277500)

**提 要:** 使用鲁南地区临沂(1951—2005年)、枣庄(1958—2005年)2个代表站逐月降水资料,利用累积距平及滑动  $t$  检验法、 $K-W$  检验法及  $SPI$  指数,分析鲁南地区降水量的长期变化趋势及干旱频率变化特征。结果表明:鲁南地区的年降水量于1970年代中期前后发生显著突变,突变后年降水量减少12%以上,其中汛期降水量减少16%以上,冬半年降水量变化趋势不显著。干旱年全部发生在年降水量突变后。对比鲁南地区降水量改变点前后气象干旱发生频率及持续时间发现,就干旱季节而言,临沂各季干旱频率均明显增大,枣庄春夏秋三季干旱频率明显增大;就干旱强度而言,各级干旱频率均明显增大,均以中度干旱频率增大最显著;就干旱持续时间而言,以持续3个月以上干旱频率增大最显著,干旱持续时间有明显延长趋势。

**关键词:** 气候变化  $K-W$  检验 标准化降水指标 干旱

## Secular Variation Tendency of Precipitation and Droughts in South of Shandong

Zhang Meiling

(Tengzhou Meteorological Office, Shandong Province 277500)

**Abstract:** Based on the monthly precipitation data from 2 stations in the South of Shandong Province, the secular variation tendency of precipitation and the drought frequency are analyzed with the accumulated anomalies, the  $t$ -test and Kruskal-Wallis assay method. The results show that there is an evident decrease of the precipitation in the south of Shandong Province since the 1950s, and a sudden change spot in the mid 1970s. After the change spot, the precipitation reduced above 12%, especially in the rainy season, the precipitation reduced remarkably, above 16%. The dry season precipitation change was not remarkable. The droughts all happened after the sudden change spot. The dry season frequency and their intensities obviously increase since the sudden change spot. The frequencies of the 3-month dry periods are high and the periods of continuous droughts are obviously long.

**Key Words:** climatic change Kruskal-Wallis assay standardized precipitation index drought

## 引言

山东省地处中纬度,濒临渤海、黄海,境内山峦起伏,地形复杂,各地气候差异明显。气候业务中将全省划分成鲁西北、鲁西南、鲁中、鲁南、半岛五个气候区<sup>[1]</sup>。鲁南地区包括临沂、枣庄两市和日照部分地区,该区地处鲁中山区的东南麓,北依鲁中群峰,南接苏北平原,夏季盛行从海上吹来的潮湿的东南季风,经山丘的抬升,降水量显著增多,是山东省降水量最多的地方。特殊的地理位置加上丰富的水热资源,使鲁南地区成为山东经济腾飞的两翼之一。

近年来,气候变化问题越来越受到公众的关注,我国许多科技工作者在中国近代气候变化规律以及气候变化对区域气候的影响方面作了诸多的研究<sup>[2-7]</sup>。在山东气候研究方面,也取得了许多最新研究成果<sup>[8]</sup>。相对于全球性的持续变暖趋势,降水量变化格局及其区域分异有更大的不确定性。因此研究不同区域降水量的变化特征是当前气候变化研究的重要内容之一。本文利用累积距平及滑动  $t$  检验法、K-W 检验法及 SPI 指数,分析鲁南地区降水量的长期变化趋势及干旱频率变化特征,为气候预测提供依据。

## 1 资料和方法

为分析鲁南地区降水量和 SPI 指数,且使之具有代表性,我们选用两个资料年代较长的代表站逐月降水资料:临沂站资料年代为 1951—2005 年,枣庄站资料年代为 1958—2005 年。

采用方法:

(1) 利用累积距平及滑动  $t$  检验法<sup>[9]</sup> 分析年降水量的突变点。

(2) 利用 K-W 检验<sup>[10]</sup> 检定样本是否具有

显著差异。若有  $n$  个样本,检定统计量  $H$ :

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

式中  $n = \sum_{i=1}^k n_i$ , 而  $n_i$  代表各组样本大小,  $R_i$  为各组样本的等级和。取  $\alpha = 0.05$  水平下  $H > \chi_{(0.05,1)}^2 = 3.84$ , 表示样本存在显著差异。

(3) SPI 指数<sup>[11,12]</sup>; Mckee(1993)对美国地区的降雨进行研究,结果发现 Gamma 分布<sup>[6]</sup>最能代表其统计特性。假设某一时段的降水量为  $x$ , 则其 Gamma 分布的概率密度函数为:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$$

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

式中  $\alpha$  为形状参数,  $\beta$  为尺度参数,  $x$  为降水量,  $\Gamma(\alpha)$  是 Gamma 函数。最佳的  $\alpha, \beta$  估计值可采用极大似然法求得,即

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$\beta = \frac{x}{\alpha}$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

式中  $n$  为计算序列的长度。于是给定时间尺度的累积概率可计算如下:

$$G(x) = \sum_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx$$

假设  $t = x/\beta$ , 上式则形成

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

由于 Gamma 方程不包含  $x=0$  的情况, 而实际降水量可以为 0, 所以累积概率方程式可修正如下:

$$H(x) = q + (1-q)G(x)$$

式中  $q$  是降水量为 0 的概率, 如果  $m$  表示降水序列中降水量为 0 的数量, 则  $q = m/n$ 。

累积概率  $H(x)$  可以通过下式转换为标准正态分布函数。

当  $0 < H(x) \leq 0.5$  时:

$$z = SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right)$$

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(H(x))^2} \right)}$$

当  $0.5 < H(x) < 1$  时:

$$z = SPI = + \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right)$$

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(1.0 - H(x))^2} \right)}$$

$c_0 = 2.515517$ ;  $c_1 = 0.802853$ ;  $c_2 = 0.010328$ ;  
 $d_1 = 1.432788$ ;  $d_2 = 0.189269$ ;  $d_3 = 0.001308$ 。

据此,可以求得  $SPI$ 。本文计算年降水量的  $SPI$  值及利用连续 3 个月降水量计算逐月  $SPI3$  值。Mckee 定义  $SPI \leq -1.0$  为干旱事件,其干旱等级值见表 1。

表 1  $SPI$  指数干旱等级

| $SPI$             | 干旱等级 |
|-------------------|------|
| $0 \sim -0.99$    | 轻微干旱 |
| $-1.0 \sim -1.49$ | 中度干旱 |
| $-1.50 \sim -2.0$ | 严重干旱 |
| $\leq -2.0$       | 极端干旱 |

## 2 结果分析

### 2.1 鲁南地区降水量长期变化趋势分析

我们用累积距平及滑动  $t$  检验法分析两代表站年降水量(表 2),发现鲁南年降水量在 1970 年代中期发生了气候突变。临沂年降水量在 4、7、14~18 年的气候变化尺度上,均有显著水平超过 0.01 的年份,对比分析发现,当  $n_1 = n_2 = 15$  时,突变最为显著,突变点为 1975 年,显著水平达到 0.004。枣庄年降水量在 5~9、13~16 年的气候变化尺度上,均有显著水平超过 0.01 的年份,对比分析发现,当  $n_1 = n_2 = 16$  时,突变最为显著,突变点为 1976 年,显著水平也达到 0.004。

表 2 鲁南地区年降水量检验结果

| 测站 | 突变点  | 滑动 $t$ 检验值 | 滑动 $t$ 检验显著水平 | K-W 检验值 | K-W 检验显著水平 |
|----|------|------------|---------------|---------|------------|
| 临沂 | 1975 | 3.512      | 0.004         | 4.8675  | 0.027      |
| 枣庄 | 1976 | 3.414      | 0.004         | 8.3453  | 0.004      |

用 K-W 检验法检定突变点前后年降水量发现均存在显著差异,临沂超过 0.027 的显著性水平,枣庄超过 0.004 的显著性水平。两站年降水量均减少 12% 以上,汛期降水量均减少 16% 以上,差异非常显著。冬半年降水量临沂略有增加,枣庄略有减少,但均不显著(表 3)。历年资料显示,汛期降水量占年降水量的 70% 以上,汛期降水量的显著减少使得蓄丰济枯的水资源减少,干旱情况有可能会严重化,致使其缺水现象日益严重,近年的干旱情形尤为严重。

表 3 鲁南地区不同时段降水量前后改变率

| 测站 | 时段  | 改变点前(mm) | 改变点后(mm) | 改变率(%) |
|----|-----|----------|----------|--------|
| 临沂 | 全年  | 930.7    | 818.1    | -12.1  |
|    | 汛期  | 695.9    | 581.8    | -16.4  |
|    | 枯水期 | 234.8    | 236.3    | +0.7   |
| 枣庄 | 全年  | 954.2    | 797.9    | -16.4  |
|    | 汛期  | 714.0    | 570.3    | -20.1  |
|    | 冬半年 | 240.2    | 227.6    | -5.3   |

### 2.2 鲁南地区气象干旱分析

根据鲁南地区年降水量的  $SPI$  指数值,  $SPI \leq -1.0$  的干旱年临沂 8 年,枣庄有 9 年。临沂极端干旱年为 1988、1981 年,严重干旱年为 2002、1989 年,中度干旱年为 1976、1977、1983、1989 年。枣庄极端干旱年为 1988 年,严重干旱年为 1981 年,中度干旱年为 1976、1978、1983、1989、1992、1997、2002 年。干旱年全部出现在降水量突变后。两站干旱年中有 7 年相同,说明干旱发生具有区域性。我们计算逐月  $SPI3$  值,根据干旱事件定义,统计年降水量突变点前后逐月及各季各级干旱发生频率及持续时间。

#### 2.2.1 鲁南地区干旱频率的逐月变化特征

降水量突变前后两站逐月干旱频率变化差异明显(图 1)。临沂除 7 月外,各月干旱频率均有所增大,其中 9 月干旱频率增大最显著达 29%,其次是 2 月及 5 月为 18%,7 月干旱频率明显下降为-10%。枣庄 2—9 月干旱频率均有所增大,其中 6 月干旱频率增大最显著达 24%,其次是 4 月为 20%,10—1 月干旱频率均明显减小,其中 12 月减小最大为-13%。可见,逐月干旱频率变化具有明显的地域差异。

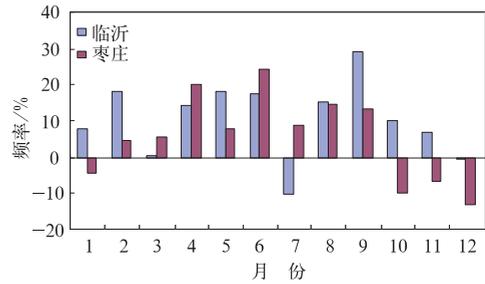


图 1 鲁南地区降水量突变前后干旱频率逐月变化值

### 2.2.2 鲁南地区干旱频率的季节变化特征

鲁南地区一年四季均有干旱发生,其季

表 4 鲁南地区年及四季各级干旱强度频率变化(单位:%)

|      |      | 临沂 |    |    |    | 全年  | 枣庄 |    |    |     | 全年  |
|------|------|----|----|----|----|-----|----|----|----|-----|-----|
|      |      | 春季 | 夏季 | 秋季 | 冬季 |     | 春季 | 夏季 | 秋季 | 冬季  |     |
| 突变点前 | 中度干旱 | 13 | 25 | 13 | 4  | 54  | 6  | 6  | 22 | 6   | 39  |
|      | 严重干旱 | 4  | 4  | 13 | 8  | 29  | 11 | 17 | 11 | 0   | 39  |
|      | 极端干旱 | 8  | 0  | 0  | 17 | 25  | 0  | 0  | 0  | 28  | 28  |
|      | 合计   | 25 | 29 | 25 | 29 | 108 | 17 | 22 | 33 | 33  | 106 |
| 突变点后 | 中度干旱 | 29 | 26 | 35 | 29 | 119 | 33 | 53 | 17 | 13  | 117 |
|      | 严重干旱 | 16 | 16 | 26 | 13 | 71  | 20 | 13 | 13 | 7   | 53  |
|      | 极端干旱 | 13 | 10 | 10 | 13 | 45  | 10 | 3  | 20 | 13  | 47  |
|      | 合计   | 58 | 52 | 71 | 55 | 235 | 63 | 70 | 50 | 33  | 217 |
| 变化值  | 中度干旱 | 17 | 1  | 23 | 25 | 65  | 28 | 48 | -6 | 8   | 78  |
|      | 严重干旱 | 12 | 12 | 13 | 5  | 42  | 9  | -3 | 2  | 7   | 14  |
|      | 极端干旱 | 5  | 10 | 10 | -4 | 20  | 10 | 3  | 20 | -14 | 19  |
|      | 合计   | 33 | 22 | 46 | 26 | 127 | 47 | 48 | 17 | 0   | 111 |

节分布有明显的地域特征,1970 年代中期以后干旱有加重的趋势。年降水量发生突变前,中度干旱发生频率临沂以夏季最大,枣庄以秋季最大;严重干旱发生频率临沂以秋季最大,枣庄以夏季最大;极端干旱发生频率均以冬季最大。干旱发生总频率临沂以夏冬季最大,枣庄以秋冬季最大。各级干旱强度中临沂以中度干旱频率最大,枣庄以中度及严重干旱频率最大。

年降水量发生突变后,中度干旱发生频率临沂以秋季最大,枣庄以夏季最大;严重干旱发生频率临沂也以秋季最大,枣庄以春季最大;极端干旱发生频率临沂以冬春季最大,枣庄以秋季最大。干旱发生总频率临沂以秋季最大,枣庄以夏季最大。各级干旱强度中

均以中度干旱频率最大。

从干旱频率变化值来看,除两站冬季极端干旱频率均有所减小,枣庄秋季中度干旱及夏季严重干旱频率也有所减小外,其它各季各级干旱频率均有所增大。中度干旱频率增大临沂以冬季最大,枣庄以夏季最大;严重干旱频率增大临沂以秋季最大,枣庄以冬季最大;极端干旱频率增大临沂以夏秋季最大,枣庄以秋季最大。干旱总频率临沂以秋季最大,枣庄以夏春季最大。各级干旱强度中均以中度干旱频率增大最显著。

### 2.2.3 干旱持续时间的变化特征

表 5 给出临沂、枣庄干旱持续的发生频率,从表 5 可以看出,年降水量发生突变前,临沂以持续 1~2 个月干旱为主,持续 3 月干

旱也仅出现 1 次,频率为 4%。而枣庄仅出现持续 1~2 个月的干旱。年降水量发生突变后,临沂持续 1、3~5 个月干旱频率明显增大,其中以持续 3 月干旱频率增大最显著,增大 2.9 倍,持续 2 个月干旱频率未变;枣庄持

续 1 个月干旱频率略有减小,持续 2 个月干旱频率未变,以持续 3 个月干旱频率增大最显著,2002 年出现了持续 6 个月的干旱,干旱持续时间有明显延长趋势。

表 5 鲁南地区年干旱持续 N 月以上(N 月)频率(%)变化

|      |    | 1 个月    | 2 个月   | 3 个月   | 4 个月   | 5 个月 | 6 个月 |
|------|----|---------|--------|--------|--------|------|------|
| 突变点前 | 临沂 | 71(38)  | 33(29) | 4(4)   |        |      |      |
|      | 枣庄 | 72(39)  | 33(33) |        |        |      |      |
| 突变点后 | 临沂 | 119(58) | 61(29) | 32(16) | 16(10) | 6(6) |      |
|      | 枣庄 | 103(37) | 67(33) | 33(27) | 7(3)   | 3(0) | 3(3) |
| 变化值  | 临沂 | 49(21)  | 28(0)  | 28(12) | 16(10) | 6(6) |      |
|      | 枣庄 | 31(-2)  | 34(0)  | 33(27) | 7(3)   | 3(0) | 3(3) |

### 3 结 论

(1) 分析鲁南地区年降水量的长期变化趋势发现,20 世纪 70 年代中期的突变最为显著,突变点前后年降水量差异显著,均减少 12% 以上,其中以汛期降水量减少最为显著,均减少 16% 以上,冬半年降水量变化不显著。

(2) 鲁南地区干旱发生具有区域性,各级干旱强度中均以中度干旱频率增大最显著,但其突变前后月、季干旱频率分布地域差异也很明显。临沂各季干旱频率均明显增大,枣庄春夏秋三季干旱频率明显增大。其中临沂中度干旱频率冬季增大最显著,严重干旱秋季增大最显著,极端干旱夏季增大最显著;干旱总频率秋季增大最显著;枣庄中度干旱频率夏季增大最显著,严重干旱春季增大最显著,极端干旱秋季增大最显著,干旱总频率夏季增大最显著。

(3) 鲁南地区年降水量突变前,主要是持续 1~2 个月干旱,突变后以持续 3 个月以上干旱频率增大最显著,干旱持续时间有明显延长趋势。

### 参考文献

- [1] 邹树峰,薛德强,陈艳春,等.不同气象业务对山东省区域划分[J].山东气象,2001,21(3):20-22.
- [2] 林学椿,于淑秋.近 40 年我国气候趋势[J].气象,1990,16(10):16-21.
- [3] 高歌,李维京,张强.华北地区气候变化对水资源的影响及 2003 年水资源预评估[J].气象,2003,29(8):27-31.
- [4] 孙风华,袁健.辽宁省近 50 年降水序列变化规律及干旱预测[J].气象,2004,30(06):32-34.
- [5] 王川,杜继稳,杜川利,等.陕西及我国东部区域气候变化研究[J].气象,2005,31(04):22-26.
- [6] 白美兰,郝润全,邸瑞琦,等.内蒙古东部近 54 年气候变化对生态环境演变的影响[J].气象,2006,32(06):31-36.
- [7] 宋连春,郑振镛,董安详,等.干旱[M].北京:气象出版社,2003:44-53.
- [8] 王建国.山东气候[M].北京:气象出版社,2005:241-278.
- [9] 丁裕国,江志红.气象数据时间系列信号处理[M].北京:气象出版社,1998:46-47.
- [10] 王星.非参数统计[M].北京:中国人民大学出版社,200:131-134.
- [11] 袁文平,周广胜.标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析[J].植物生态学报,2004,(4):523-529.
- [12] 宋嘉文.气候变迁对台湾西半部地区降雨与气象干旱影响之研究[OL].[http://www.hyd.ncku.edu.tw/mate/lab2/grade\\_ppt/92m\\_ppt\\_sung\\_files/slide0208.htm-20k](http://www.hyd.ncku.edu.tw/mate/lab2/grade_ppt/92m_ppt_sung_files/slide0208.htm-20k).