

邢台市近 61 年降水变化特征及其对生态环境的影响

郝巨飞¹, 张功文², 李芷霞¹, 王晓娟¹, 杨允凌¹
(1. 邢台市气象局, 河北 邢台 054000; 2. 邯郸市气象局, 河北 邯郸 056001)

摘要: 根据邢台市国家气象观测站 1954—2014 年的逐日降水资料, 运用线性倾向分析、Mann-Kendall 突变检验、滑动 t 检验等方法对邢台市的降水气候变化特征进行了分析。结果表明: 近 61 a 来, 邢台市月不同等级降水日数随着降水等级的升高而快速下降, 月雨日和月雨量的峰值均出现在 7 月份, 平均为 18.67 d 和 150.46 mm; 小雨日和小一中雨日分别呈 $-3.17 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 和 $-0.61 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 的显著性下降, 其他等级降水的雨日也都呈不明显的下降趋势, 年总雨日呈 $-4.37 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 的显著性下降, 其中在夏季的下降趋势最明显; 年总雨量的气候倾向率为 $-18.23 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$, 其中小雨量呈 $-5.22 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 的显著下降; 总雨量下降的原因一方面为雨日的减少, 另一方面是小雨日和小一中雨日雨量在夏季的显著性减少。检验证明小雨日、小一中雨日的突变时间分别在 20 世纪 70 年代中后期和 60 年代末, 总雨日和小雨量的突变时间分别发生在 20 世纪 70 年代初和 80 年代初。

关键词: 雨日; 雨量; Mann-Kendall 检验; 滑动 t 检验; 邢台
中图分类号: S162.3 **文献标志码:** A

Characteristics of precipitation variation in recent 61 years and its influence on ecological environment in Xingtai City

HAO Ju-fei¹, ZHANG Gong-wen², LI Zhi-xia¹, WANG Xiao-juan¹, YANG Yun-ling¹

(1. Xingtai Meteorological Bureau, Xingtai, Hebei 054000, China; 2. Handan Meteorological Bureau, Handan, Hebei 056001, China)

Abstract: Based on the daily precipitation data from 1954 to 2014 at Xingtai meteorological observatory in Hebei Province, the characteristics of precipitation variation were analyzed with the methods of linear trend analysis, Mann-Kendall mutation test and sliding t test. The results showed that the rainy days in each month declined rapidly along with the increase of rainfall grades, and the maximum monthly rainfall amount and rainy days appeared in July, being 18.67d and 150.46mm in average, respectively. The light rain days and light-moderate rain days showed a significant decrease by $-3.17 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ and $-0.61 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$, respectively, while the days with other rain grades tended to decrease insignificantly; the total annual rainy days showed a significant decrease by $-4.37 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$, in which the most obvious decline occurred in summer. The climate tendency rate of annual total rainfall was $-18.23 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$, in which the amount of light rain declined significantly by $-5.22 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$. The decline in total rainfall was caused by both the decrease of rainy days and the significant decrease of rainfall amount in light rain days and light-moderate rain days in summer. Furthermore, it was found that the mutation time of light rain days and light-moderate rain days was the mid and late 1970s and the end of 1960s, respectively, while the mutation time of total rain days and light rain amount was the early 1970s and the early 1980s, respectively.

Keywords: rainy days; rainfall; Mann-Kendall test curve; sliding t test; Xingtai

全球变暖引起的区域气候变化是目前人们关注的环境问题之一^[1-2], 区域降水则是一个地区气候变化最直接、最敏感的因素^[3-4]。许多学者采用各种方法对我国各省、主要流域的降水变化特征进行了分析^[5-8], 研究表明近 50 a 来, 全国的年平均降水量每 10 a 减少 2.9 mm, 华北大部分地区降水明显

收稿日期: 2015-12-04
基金项目: 河北省气象科研项目(13KY32); 河北省邢台市气象科研项目(15xtky11)
作者简介: 郝巨飞(1981—), 男, 陕西榆林人, 工程师, 主要从事气象服务与研究。E-mail: dragonland@126.com。

减少,平均每 10 a 减少 20~40 mm^[9],随着气候变暖的加强,洪水和干旱等极端天气事件的发生频次在不断增加^[10],由于气候变化具有很强的地域特点,尤其是降水的变化趋势与强度各地并不完全一样^[11],对小区域范围或粮食主产区的研究相对缺乏,而这些区域的降水变化特征对农业生产、生活和防灾减灾有着极其重要的影响^[12-13]。

邢台地区位于河北省中南部,太行山脉南段东麓,自西而东山地、丘陵、平原阶梯排列,三者比例 2:1:7,是华北平原的主要粮产区之一,降水的变化对粮食稳产、增产有着重要的作用,尤其东部平原地处黑龙港流域,由于多年依靠对地下水的超采来弥补地表水资源的不足,造成地下水位连年下降,形成全国最大、世界罕见的超采漏斗区和地面沉降区^[14]。同时关于本地区的降水特征研究,以前更多地关注强降水事件的发生,对雨日的时空变化特征缺乏研究,在此背景下,本文按照降水等级来研究邢台地区的降水分布特点,通过揭示其降水的历史变化规律,探索降水变化特点,以期对区域的生态环境治理、农业生产生活和防灾减灾等提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料

邢台市辖区共有 17 个县,气象数据的观测起始时间从 1954 年到 1972 年不等,17 个测站的年降水日数相关系数平均值 0.7329,最小 0.6216,年降水量相关系数平均值 0.7232,最小 0.5666,说明各站雨日、雨量的变化趋势具有较好的一致性,因邢台市资料年代最久,故选取邢台市气象探测中心提供的 1954—2014 年邢台市国家气象站的逐日降水数据,资料经过较严格的质量控制,具有较高的可靠性。降水日数定义为:当 24 h(20:00 至次日 20:00)降水量≥0.0 mm 为 1 个降水日数,降水等级以中国气象局颁布的“降水强度等级划分标准(内陆部分)”为分类的参考依据,因大暴雨及以上等级降水的发生次数在年雨日中占频次很少,故本文将大暴雨及以上等级的降水统称为大暴雨。

1.2 方法

首先对日降水量进行分类,分析各个等级降水事件的发生规律;其次采用趋势分析方法研究变化趋势较明显的雨日、雨量变化特征;最后利用 Mann-Kendall 检验和滑动 t 检验来验证分析近 61 a 来邢台市的降水特征变化情况。季节划分标准为:冬季(上年 12 月—当年 2 月)、春季(3 月—5 月)、夏季(6 月—8 月)、秋季(9 月—11 月)。

Mann-Kendall 检验法^[15]是对具有 n 个样本量的时间序列 x ,构造 1 个顺序列 S_k ,该序列是第 i 时刻数值大于 j 时刻数值个数的累计值,在时间序列随机独立的假定下,定义统计量,见式(1)。

$$UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{\text{var}(S_k)}}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

式中: $UF_1 = 0$, $E(S_k)$ 、 $\text{var}(S_k)$ 是累计数 S_k 的均值和方差; UF_i 为标准正态分布,它是按时间序列 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 计算出的统计量序列,按时间序列 x 逆序重复上述过程,同时使 $UB_k = -UF_k (k = n, n-1, \dots, 1)$, $UB_1 = 0$ 。当 $UF > 0$ 则表明序列呈上升趋势; $UF < 0$ 则表明序列呈下降趋势。当 UF 超过临界线时,表明上升或下降的趋势显著,如果两线在临界值之间出现交点,那么交点对应的时刻即为突变开始时间。

滑动 t 检验是通过考察两组样本平均值的差异是否显著来检验突变。对于具有 n 个样本的时间序列 x ,定义统计量,见式(2)。

$$t = \frac{\overline{x_1} - \overline{x_2}}{s \times \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad \text{其中} \quad s = \sqrt{\frac{n_1 \times s_1^2 + n_2 \times s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (2)$$

式中,基准点前后两段子序列 x_1 和 x_2 的样本数分别为 n_1 和 n_2 ,两段子序列的平均值为 $\overline{x_1}$ 和 $\overline{x_2}$,方差为 s_1^2 和 s_2^2 ,统计量遵从 $n_1 + n_2 - 2$ 的 t 分布。如果两段子序列的均值差异超过了一定的显著性水平,则认为有显著差异,出现突变,否则认为未出现突变。

2 结果与分析

2.1 降水日、降水量的月变化

根据表 1 可知:邢台市月平均雨日为 8.12 d,全年呈单峰型分布,峰值为 7 月的 18.67 d,占总雨日的 19.15%;1 月份降水日数最少,平均雨日 2.46 d,占总雨日的 2.52%。小雨等级的降水是全年降水日中出现次数最多的降水,占总雨日的 60.89%,其中 1 月份小雨日占月总雨日的比例最高,达到 92.67%,7 月份最低为 46.18%。其次为小一中雨等级的雨日,占总雨日的 15.54%,其中 7 月份小一中雨占月总雨日的比例最高,为 17.30%,1 月份最少,为 7.33%。降水出现次数最少的是暴雨和大暴雨等级的降水,降水日占总雨日的比例分别为 1.24%和 0.31%。其中暴雨日在 7 月份发生次数最多,平均为 0.61 d,大暴雨等级的降水日在 8 月份发生最多,平均为 0.16 d。除大雨、大暴雨降水的月平均雨日在 8 月份出现次数最多外,其他等级降水的

月平均雨日均是在 7 月份达到最高,并且各月不同 等级降水的雨日随着降水等级的升高而快速下降。

表 1 1954—2014 年邢台市不同等级降水的月雨日、雨量统计

Table 1 Statistics of rainy days and rainfall amount with different grades in each month during 1954 to 2014 in Xingtai

月份 Month	月平均雨日变化 Monthly mean rainy days variation/d								
	总降水 Total rainfall	小雨 Light rain	小 – 中雨 Light – moderate rain	中雨 Moderate rain	中 – 大雨 Moderate – heavy rain	大雨 Heavy rain	大 – 暴雨 Heavy – intense rain	暴雨 Intense rain	大暴雨 Torrential rain
1	2.46	2.28	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3.82	3.28	0.44	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	4.33	3.43	0.57	0.20	0.05	0.05	0.03	0.00	0.00
4	6.21	4.13	0.98	0.57	0.28	0.16	0.08	0.00	0.00
5	8.30	5.38	1.28	0.72	0.49	0.23	0.15	0.05	0.00
6	11.10	6.59	1.74	1.07	0.82	0.44	0.33	0.11	0.00
7	18.67	8.62	3.23	2.52	1.59	0.95	1.03	0.61	0.11
8	16.08	7.85	2.46	1.69	1.57	1.23	0.80	0.31	0.16
9	10.93	6.56	1.89	1.07	0.72	0.39	0.20	0.11	0.00
10	7.43	4.85	1.31	0.74	0.26	0.15	0.08	0.02	0.02
11	5.33	3.82	0.85	0.46	0.15	0.03	0.02	0.00	0.00
12	2.82	2.57	0.21	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

月份 Month	月平均雨量变化 Monthly mean rainfall variation/mm								
	总降水 Total rainfall	小雨 Light rain	小 – 中雨 Light – moderate rain	中雨 Moderate rain	中 – 大雨 Moderate – heavy rain	大雨 Heavy rain	大 – 暴雨 Heavy – intense rain	暴雨 Intense rain	大暴雨 Torrential rain
1	3.50	1.53	6.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	7.32	1.87	8.13	12.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	11.19	1.98	8.77	13.54	28.63	35.47	38.00	0.00	0.00
4	23.11	2.22	9.61	14.76	24.78	33.37	39.08	0.00	0.00
5	36.38	2.36	9.07	17.01	23.38	34.26	45.98	72.67	0.00
6	55.85	2.50	9.08	16.21	23.78	33.94	42.90	61.40	0.00
7	150.46	2.47	10.00	15.90	24.76	35.70	46.57	66.11	130.16
8	134.84	2.49	9.46	16.77	26.13	34.16	46.94	68.13	144.79
9	52.95	2.31	9.30	16.00	25.50	32.31	45.84	69.99	0.00
10	28.61	2.10	9.44	14.35	23.66	33.99	43.40	56.20	116.90
11	14.91	1.86	9.23	14.75	23.13	31.65	36.10	0.00	0.00
12	4.09	1.45	7.78	10.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

邢台市月平均雨量为 43.60 mm,高值出现在 7—8 月份,分别为 150.46 mm 和 134.84 mm,占全年总降水量的 54.53%,低值出现在 1 月份,月平均降水量 3.50 mm,占全年总降水量的 0.67%。中雨、暴雨日的月平均雨量在 5 月份出现最高值,小雨日的月平均雨量在 6 月份出现最高值,小—中雨、大雨日的月平均雨量在 7 月份出现最高值,中—大雨、大—暴雨、大暴雨等级降水的月平均雨量在 8 月份出现最高值。

通过对逐月不同等级降水的雨日和雨量进行气候倾向性分析发现:总雨日在 3 月、7 月和 10 月达到 $\alpha_{0.05}$,8 月达到 $\alpha_{0.01}$ 的显著性检验,气候倾向率分别为 -0.004 、 -0.008 、 $-0.007\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$ 和 -0.013 d

$\cdot10\text{a}^{-1}$;小雨日在 3 月、7 月达到 $\alpha_{0.05}$,8 月达到 $\alpha_{0.01}$ 的显著性检验,气候倾向率分别为 -0.004 、 $-0.005\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$ 和 $-0.006\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$;小—中雨日在 7 月达到 $\alpha_{0.05}$,10 月达到 $\alpha_{0.01}$ 的显著性检验,气候倾向率分别为 $-0.001\text{ d}\cdot10\text{ a}^{-1}$ 和 $-0.002\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$;中雨日在 11 月达到 $\alpha_{0.05}$,9 月达到 $\alpha_{0.01}$ 的显著性检验,气候倾向率分别为 $-0.001\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$ 和 $0.002\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$;大雨日在 11 月达到 $\alpha_{0.05}$ 的显著性检验,气候倾向率 $0.003\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$;其他等级降水的雨日变化均没有通过显著性检验。小雨等级的雨量在 10 月达到 $\alpha_{0.05}$ 的显著性检验,气候倾向率 $-0.013\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$;小—中雨等级的雨量在 9 月达到 $\alpha_{0.05}$,10 月达到 $\alpha_{0.01}$ 的显

著性检验,气候倾向率分别为 $0.019\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$ 和 $-0.024\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$;中雨等级的雨量在 11 月达到 $\alpha_{0.05}$,9 月达到 $\alpha_{0.01}$ 的显著性检验,气候倾向率分别为 $-0.019\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$ 和 $0.037\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$;大雨等级的雨量在 11 月达到 $\alpha_{0.05}$ 的显著性检验,气候倾向率 $-0.009\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$;其他等级降水的雨量变化均没有通过显著性检验。可以发现:小雨和小一中雨等级降水的雨日气候倾向率变化趋势与总雨日的气候倾向率变化趋势较为一致。

2.2 降水日、降水量的季节变化

在季节分布上,夏季出现的总雨日占全年降水日的比例最高,占比 47.04%;其次为秋季的 24.30%,再次为春季的 19.33%,冬季降水日数最少,占比只有 9.34%。除大暴雨外的其他等级降水

雨日,均表现为夏季最多,秋季次之,再次春季,冬季最少的特征。

通过对近 61 a 邢台市四季不同等级降水的气候倾向率(表 2)进行分析发现:各等级降水在春季的气候倾向率大部分都表现为减少,但趋势不明显;夏季,小雨日、小一中雨日和总雨日的气候倾向率分别为 -1.05 、 $-0.45\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$ 和 $-2.29\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$,均通过 $\alpha_{0.05}$ 的显著性检验,其他等级降水的雨日气候倾向率虽然也表现为减少,但是都没有通过显著性检验;秋季、冬季通过显著性检验的降水等级为小雨日,气候倾向率分别为 $-1.09\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$ 和 $-0.64\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$,其他等级降水的雨日气候倾向率均没有通过检验。可以发现,总雨日在夏季减少的主要原因是小雨日和小一中雨日的显著性减少。

表 2 邢台市不同等级降水的气候倾向性变化
Table 2 The climate tendency of rainfall with different grades in Xingtai

项目 Item		春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
雨日/($\text{d}\cdot10\text{a}^{-1}$) Rainy days	总雨 Total rainfall	-0.33	-2.29**	-1.10	-0.65
	小雨 Light rain	-0.39	-1.05**	-1.09**	-0.64**
	小一中雨 Light - moderate rain	0.00	-0.45**	-0.12	-0.04
雨量/($\text{mm}\cdot10\text{a}^{-1}$) Rainy days	总雨 Total rainfall	1.74	-18.49	-1.23	-0.51
	小雨 Light rain	-0.13	-3.02*	-1.42	-0.92
	小一中雨 Light - moderate rain	0.21	-3.57*	-1.11	-0.26

注: * 表示通过 0.1 显著性水平, ** 表示通过 0.05 显著性水平。
Note: * means significance at 0.1; ** means significance at 0.05.

通过表 2 同时可发现,总雨量在春季呈增加趋势,夏季、秋季和冬季呈减少趋势,气候倾向率相对高值出现在夏季的 $-18.48\text{ mm}\cdot10\text{a}^{-1}$,但没有达到显著性检验水平。小雨等级的降水量四季均表现为减少趋势,其中夏季气候倾向率为 $-3.02\text{ mm}\cdot10\text{a}^{-1}$,通过 90% 的置信度检验,呈明显下降趋势。小一中雨等级的降水量在春季呈增加趋势,夏季、秋季和冬季呈减少趋势,其中夏季的气候倾向率为 $-3.57\text{ mm}\cdot10\text{a}^{-1}$,通过 90% 的置信度检验。四季中其他等级降水雨量的气候倾向率大部分呈减少趋势,但都没有通过显著性检验。可知总雨量在夏季减少的主要原因是小雨和小一中雨等级降水雨量的减少。

2.3 降水日、降水量的年变化

根据表 3 发现:邢台市年平均降水日数为 97.48 d,最大值出现在 1954 年的 144 d,最小值出现在 1981 年的 69 d。年平均降水日数以小雨日出现的次数最多,年平均出现次数 59.36 d,占全部雨日的 60.59%,最大值出现在 1954 年的 88 d,最小值出现

在 2006 年的 41 d。其次为小一中雨,年平均出现次数 15.15 d,占全部雨日的 15.46%,最大值出现在 1990 年的 27 d,最小值出现在 1996 年的 8 d。年平均出现次数最少的是大暴雨等级降水的雨日,年平均值为 0.30 d,占全部雨日的 0.30%,最大值出现在 1962 年的 3 d。

对雨日进行气候倾向性分析发现:总雨日呈 $-4.37\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$ 的下降趋势,小雨日和小一中雨日的气候倾向率分别为 $-3.17\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$ 和 $-0.61\text{ d}\cdot10\text{a}^{-1}$,均达到 99% 显著性检验,呈显著性下降。其他等级降水的年出现次数一致呈下降趋势,但都没有达到显著性检验。对不同等级降水的年雨量同时做气候倾向性分析可以发现,年总降水量呈 $-18.23\text{ mm}\cdot10\text{a}^{-1}$ 的下降,但趋势不明显。小雨等级的年降水气候倾向率 $-5.22\text{ mm}\cdot10\text{a}^{-1}$,达到 95% 显著性检验,呈显著性下降。其他等级降水的年雨量气候倾向率一致呈减少趋势,但都没有通过检验,下降趋势不明显。结合表 2 的分析结论可以得出:邢台市小雨日在夏季、秋季、冬季和小一中雨日在夏季的显

著性下降是导致总雨日全年显著性下降的最主要原因。年总雨量下降的原因一方面是雨日的下降,另

一方面是小雨日和小一中雨日雨量在夏季的显著性减少所致。

表 3 1954—2014 年邢台市不同等级降水的年变化

Table 3 The annual change of rainfall with different grades during 1954 to 2014 in Xingtai

降水类型 Rainfall type	年平均日 Annual mean days /d	所占雨日 百分比 Percentage /%	雨日气候倾向率 Climate tendency rate of rain days /(d·10a ⁻¹)	最大日数 Maximum days /d	最小日数 Minimum days /d	雨量气候倾向率 Climate tendency rate of rain amount /(mm·10a ⁻¹)
总雨日 Total rainy days	97.48		- 4.37 * *	144	69	- 18.23
小雨 Light rain	59.36	60.59	- 3.17 * *	88	41	- 5.22 *
小 - 中雨 Light - moderate rain	15.15	15.46	- 0.61 * *	27	8	- 4.58
中雨 Moderate rain	9.16	9.35	- 0.07	17	2	- 1.16
中 - 大雨 Moderate - heavy rain	5.93	6.06	- 0.13	14	1	- 4.37
大雨 Heavy rain	3.64	3.71	- 0.16	10	0	- 4.73
大 - 暴雨 Heavy - intense rain	2.72	2.78	- 0.16	6	0	- 7.69
暴雨 Intense rain	1.21	1.24	- 0.09	4	0	- 4.22
大暴雨 Torrential rain	0.30	0.30	- 4 × 10 ⁻³	3	0	- 2.91

注: * 表示通过 0.05 显著性水平, * * 表示通过 0.01 显著性水平。

Note: * means significance at 0.05; * * means significance at 0.01.

2.4 Mann—Kendall 检验和滑动 t 检验

为深入研究邢台市降水的时间分布特征,同时又不失特征性,对逐年总雨日、小雨日、小一中雨日和小雨雨量举行 Mann—Kendall 检验(图 1)。发现总雨日在 1970 年发生突变,1970—1976 年间虽然略微增加,但总体仍在零线以下,1976—1983 呈下降趋势,其中在 1980 年达到 $\alpha_{0.05} = \pm 1.96$ 的显著性水平检验,1983 年达到 $\alpha_{0.01} = \pm 2.56$ 的显著性水平检验,80 年代后表现为波动下降的分布,在 1989—1991、2001—2004、2007—2013 年间有所增加,但不改下降的总趋势。小雨日在 50 年代呈零线下下的波动状态;60 年代前期呈增加趋势,中后期开始下降;1972—1977 年间发生突变,70 年代后期呈下降趋势,1983 年和 1986 年分别达到 $\alpha_{0.05}$ 和 $\alpha_{0.01}$ 的显著性水平检验。小雨日的增加主要集中在 1989—1990、2000—2004、2007—2011 年间。较总雨日的增加而言,具有持续时间短,结束时间早的特点。小一中雨日在 50 年代处于低值徘徊;60 年代中前期缓慢上升,后期开始下降;1969—1971 年间发生突变,呈缓慢下降趋势;1989 年和 1997 年分别达到 $\alpha_{0.05}$ 和 $\alpha_{0.01}$ 的显著性水平检验。较总雨日和小雨日的增加而言,小一中雨日的持续时间更短,主要时段在 2001—2004 年间。小雨量在 50 年代呈零线下的波动分布,60 年代中前期呈增加趋势,后期呈波动下降,突变时间发生在 1979—1980 年间,突变时间落后于小雨日突变时间,其中 1981—1986 年呈明显下

降趋势,1987—1992 年呈波动下降趋势,1995 年和 1997 年分别达到 $\alpha_{0.05}$ 和 $\alpha_{0.01}$ 的显著性水平检验,在 2001—2004 年、2007—2010 年、2013—2014 年间有所增加,但不改整体下降趋势。

根据魏凤英对 Mann—Kendall 检验法的分析,当 UF 和 UB 曲线有多个交点时,不是所有的交叉点均是突变点,需要对其中的杂点进行去除。由于小雨日和小一中雨日的 M - K 检验曲线均存在一个以上的交点,为了能够进一步明确雨日的突变时间,使用滑动 t 检验方法进行验证(图 2)。结果显示小一中雨日的统计值序列在 1969 年达到 $\alpha_{0.05}$ 的显著性水平,转为明显减少趋势。小雨日的统计值序列在 1976—1979 年达到 $\alpha_{0.01}$ 的显著性水平,转为显著性减少趋势。结合滑动 t 检验和 Mann—Kendall 检验结论可以得出,小雨日、小一中雨日的突变时间分别在 70 年代中后期和 60 年代末。

2.5 雨日、雨量变化对生态环境的影响

邢台区域的农业种植为灌溉农业,作物以冬小麦和夏玉米为主,为一年两作的种植结构,其中冬小麦的灌溉需水量明显大于夏玉米的灌溉需水量^[16]。结合上述分析发现,邢台市降水具有明显的季风气候特点,雨日和雨量主要集中在夏季,占比达到 47.04%和 65.20%,在冬季占比最少,分别为 9.35%和 2.85%,为满足冬小麦越冬等农业用水需求,在雨日和雨量呈减少的情况下,大量抽取地下水来满足农业生产用水。同时雨量的减少会带来地下水补

给减少,尤其是在农作物生长的主要时段,上述两方面的作用互相叠加,对地下水位下降、超采漏斗区和地面沉降等都带来了不利影响,若该状况持续发展,水资源匮乏将会越来越严重。由于农业用水占总用

水量的 70% 以上,所以通过开展农艺节水、工程节水、管理节水等^[16]措施,切实改善雨日、雨量的减少对农业生产、生态环境的影响。

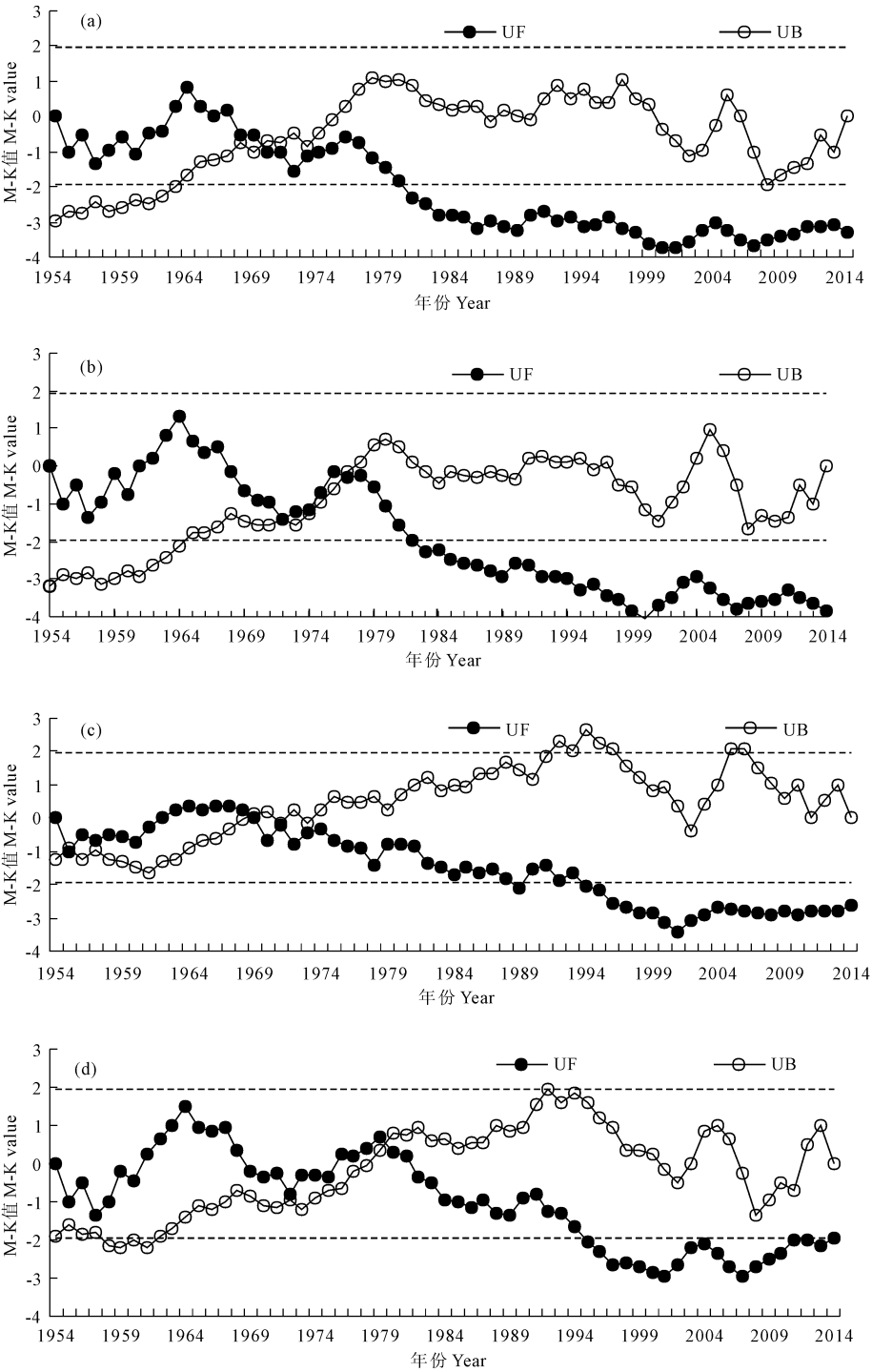


图 1 邢台市近 61 a 总雨日(a)、小雨日(b)、小-中雨日(c)、小雨量(d)的 M-K 检验曲线
Fig.1 Mann-Kendall test curve of total rainy days (a), light rain days (b), light-moderate rain days (c), light rain amount (d) in recent 61 years in Xingtai

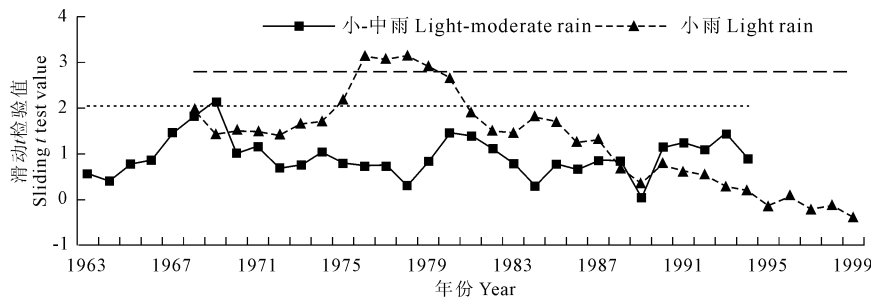


图 2 邢台市近 61 a 的雨日滑动 t 检验

Fig.2 Sliding t test of rainy days in recent 61 years in Xingtai

3 结论与讨论

1) 邢台市月平均总雨日为 8.12 d,峰值出现在 7 月份的 18.67 d,各月不同等级降水的雨日随着降水等级的升高而快速下降,其中小雨日降水占总雨日的比例为 60.89%。是全年降水日中出现次数最多的降水。小雨和小一中雨等级降水的雨日气候倾向率变化趋势与总雨日的气候倾向率变化趋势较为一致

2) 邢台市月平均雨量为 43.60 mm,高值出现在 7—8 月份,分别为 150.46 mm 和 134.84 mm,占全年总降水量的 54.53%。

3) 总雨量在夏季减少的主要原因是小雨和小一中雨等级的降水量减少。总雨日在夏季减少的主要原因是小雨日和小一中雨日的显著性减少。其中小雨日、小一中雨日和总雨日在夏季的气候倾向率分别为 -1.05 、 $-0.45\text{ d}\cdot10\text{ a}^{-1}$ 和 $-2.29\text{ d}\cdot10\text{ a}^{-1}$ 。

4) 邢台市小雨日在夏季、秋季、冬季和小一中雨日在夏季的显著性下降是导致总雨日全年显著性下降的最主要原因。年总雨量下降的原因一方面是雨日的下降,另一方面是小雨日和小一中雨日雨量在夏季的显著性减少。小雨日、小一中雨日的突变时间分别在 70 年代中后期和 60 年代末,总雨日的突变时间发生在 70 年初,小雨量的突变时间发生在 80 年代初。

5) 为应对水资源匮乏,通过开展农艺节水、工程节水、管理节水等措施,提高雨水资源的利用,改善雨日、雨量的减少对农业生产、生态环境带来的不利影响。

参 考 文 献:

[1] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].北京:气象出版社,2000:33-34.

[2] 王绍武.现代气候学研究进展[M].北京:气象出版社,2001:49.

[3] 孙鹏森,刘世荣,李崇巍.基于地形和主风向效应模拟山区降水空间分布日[J].生态学报,2004,24(9):1910-1915.

[4] 王 智,吴友均,梁凤超,等.新疆地区年降水量的空间插值方法研究日[J].中国农业气象,2011,32(3):331-337.

[5] 向 亮,郝立生,安月改,等.51 a 河北省降水时空分布及变化特征[J].干旱区地理,2014,37(1):56-65.

[6] 刘 勤,严昌荣,张燕卿,等.近 50 年黄河流域气温和降水量变化特征分析[J].中国农业气象,2012,33(4):475-480.

[7] 吴昊旻,廖必军,蔡寿强.浙江省不同强度降水日数的时空分布特征[J].干旱气象,2012,30(3):360-366.

[8] 黄梅丽,况雪源,覃志年,等.广西后汛期不同等级降水变化及突变机理探讨[J].热带气象学报,2014,30(1):92-100.

[9] 丁一汇,张 锦,徐 影,等.气候系统的演变及其预测[M].北京:气象出版社,2003:34.

[10] 龚 宇,邢开成,王 璞.沧州地区近 40 年来气温和降水量的变化趋势分析[J].中国农业气象,2008,29(2):143-145.

[11] 周 浩,杨宝钢,程炳岩.重庆近 46 年气候变化特征分析[J].中国农业气象,2008,29(1):23-27.

[12] 马晓群,张爱民,陈晓艺.气候变化对安徽省淮河流域旱涝灾害的影响及适应对策[J].中国农业气象,2002,23(4):1-4.

[13] 蔡 敏,张 智.河套地区大雨以上降水日数的气候变化特征分析[J].暴雨灾害,2014,33(4):401-406.

[14] 李志强.关于南水北调与沧州经济社会可持续发展[J].南水北调与水利科技,2004,2(3):8-13.

[15] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999:58-66.

[16] 孙宏勇,刘昌明,王振华,等.太行山前平原近 40 年降水的变化趋势及其对作物生产的影响[J].中国生态农业学报,2008,15(6):18-21.