

景泰川灌区水循环要素变化特征研究

宋增芳¹, 曾建军¹, 程玉菲¹, 胡想全¹, 李莉¹, 王亚竹¹, 周怀兵²

(1. 甘肃省水利科学研究院, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省景泰川电力提灌管理局, 甘肃 景泰 730400)

摘要: 为了深入研究景泰川灌区变化环境下水资源形成及水循环演化规律, 实现高扬程引黄灌区水资源高效合理利用与生态环境保护, 研究选用 Mann-Kendall 趋势检验法和非参数 Mann-Kendall 突变检测法对景泰川灌区 1960-2008 年的降水量、蒸发量等水循环要素进行时间变化特征分析。结果表明: 灌区多年平均降水量为 185.49 mm, 49 a 中, 多年降水量的正负距平幅度大致相同, 降水偏多与偏少期呈周期性交替出现; 蒸发量多年平均值为 2 554.25 mm, 其中有 31 a 蒸发量低于此值; 灌区夏季降水量占全年降水量的 57.4%, 为四季最大, 其次是秋季、春季, 冬季的降水量为最小; 夏春两季蒸发量分别占全年蒸发量的 40% 和 33%, 为主要蒸发集中时间, 秋季的蒸发量次之, 冬季蒸发量仅占全年的 8%, 为全年最少; 在研究时段内, 灌区年降水量没有发生突变现象; 年蒸发量 1972 年出现降低的突变, 1974 年开始剧降, 下降幅度大约为 481.4 mm。

关键词: 降水量; 蒸发量; Mann-Kendall; 水循环要素; 变化特征; 景泰川灌区

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)02-0130-06

Research on change characteristics of water circulation factors in Jingtaichuan Irrigation Area

SONG Zengfang¹, ZENG Jianjun¹, CHENG Yufei¹, HU Xiangquan¹,
LI Li¹, WANG Yazhu¹, ZHOU Huaibing²

(1. Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou 730000, China;

2. Gansu Jingtaichuan Irrigation Management Bureau, Jingtai 730400, China)

Abstract: In order to study the formation and evolution of water resources in Jingtaichuan Irrigated Area, achieve an efficient and rational utilization of water resources and ecological environment protection in high lift irrigation area, the Mann-Kendall trend test and non-parametric Mann-Kendall catastrophe test were used to analyze the time-varying characteristics of precipitation and evaporation in Jingtaichuan Irrigation Area from 1960 to 2008. The results showed that: the annual average precipitation in the irrigation area was 185.49 mm, the positive and negative anomaly ranges of multi-year precipitation were roughly the same during the 49 years, and the periods of large and small precipitation presented periodically and alternatively. The annual average evaporation was 2554.25 mm, of which 31 years evaporation is lower than this value. The precipitation in summer was the largest, accounting for 57.4% of the annual precipitation, followed by autumn and spring, and winter precipitation is the smallest. Evaporation is mainly concentrated in summer and spring, accounting for 40% and 33% of the annual evaporation, respectively, and followed by autumn and winter evaporation is the smallest. There was no abrupt change in the annual precipitation in the irrigation area, and the annual evaporation decreased abruptly in 1972 and began to decrease sharply in 1974, with a decrease of about 481.4 mm.

Key words: precipitation; evaporation; Mann-Kendall; water cycle factor; change characteristics; Jingtaichuan Irrigation Area

收稿日期: 2018-07-02; 修回日期: 2018-09-30

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0402900、2016YFC0402902); 甘肃省水资源费项目(gssky201602); 甘肃省水利科研与技术推广计划项目(甘水科外发[2017]48号)

作者简介: 宋增芳(1986-), 女, 甘肃甘谷人, 硕士, 工程师, 主要从事农业水土、水资源高效利用与节水灌溉等方面的研究工作。

1 研究背景

中国西北干旱区内陆河流域,具有降水量少、降水变率大、年内分配不均、蒸发量大和干旱时段明显的特征^[1-3]。近几十年以来强烈的人类活动叠加在长期自然演变的基础上,使区域水循环系统的平衡状态遭到严重破坏^[4]。随着人口数量的持续增加和工农业生产规模的不断扩大,以水资源开发为中心的人类活动所导致的水资源重新分配更为强烈,如何正确认识西北干旱区内陆河水循环的演化规律,在社会经济得到发展的同时保护和改善环境,已成当今社会关注的焦点^[5]。景泰川灌区位于我国西北干旱区,由于人类活动频繁和水资源时空分布极不均匀,特别是各种水利工程的修建与开发以及不合理提水,使得灌区土壤次生盐渍化、下垫面和水资源补给排条件都发生了很大变化,导致水资源量及其转化规律随之发生变化,农田水资源的合理调控和节约利用问题也日益突出^[6-8]。为防止土壤次生盐渍化,合理提水,调节灌区水资源,科学分析当前灌区水文循环要素的时空规律,对灌区的社会经济可持续发展、水资源管理与规划具有重要的意义^[9-10]。目前对干旱区水文循环要素的影响和响应研究较多,但针对干旱区灌区的研究较少,其降水、蒸发、径流等对水资源的敏感性如何更鲜有研究,而利用长序列历史资料分析各水循环要素演变的趋势、周期等特征是对区域水资源研究的基础^[11-13]。

本文以灌区水文循环要素变化特征为主线,实测水文数据为基础,计算降水量、蒸发量等水循环要素,分析灌区的气象要素变化特征,为灌区水资源开发利用和农业水资源调控及高效利用提供了技术支撑,也进一步完善了灌区水循环要素研究的理论体系。

2 数据与方法

景泰川灌区位于河西走廊东端,北纬 $36^{\circ}27' \sim 37^{\circ}38'$,东经 $103^{\circ}33' \sim 105^{\circ}34'$,海拔高度 $1\ 275 \sim 3\ 321\text{ m}$,气候特征为大陆性气候,干旱多风,降雨稀少,年均降雨量为 184.7 mm ,年蒸发量高达 $2\ 433.7\text{ mm}$ ^[14]。研究选取景泰川灌区景泰气象站近 50 年(1960-2008 年)的降水和蒸发量资料,应用 Mann-Kendall 趋势检验法和 Mann-Kendall 突变检测法^[15-19],分析灌区降水量和蒸发量的时间变化特征。

3 景泰川灌区水循环要素变化特征分析

灌区作为变化环境的敏感区与密集区,在我国西北干旱区农业稳产方面有着相当重要的作用。灌

区的水循环与降水、蒸发、气温,地表径流等因素密切相关,任何一个要素的变化都将导致水循环系统发生改变^[20-25]。景泰川灌区水循环系统有较长时间序列的降水、蒸发等观测资料,但对径流鲜有研究。为此对降水、蒸发等水循环要素进行研究。

3.1 降水量变化特征

3.1.1 降水量年变化特征 由灌区景泰气象站 1960-2008 年降水量资料,得到整个灌区近 50 年降水量的统计特征值(见表 1),图 1 给出了 1960-2008 年灌区年降水量的年变化及线性趋势线。由图 1 的趋势线方程 $y = -0.1076x + 360.8$ 可看出,49 年间灌区的年降水量略有下降,但变化幅度不大。多年平均降水量为 185.49 mm ,降水量波动范围为 $94.8 \sim 298.4\text{ mm}$,最小值出现在 1982 年,最大值出现在 2007 年,最大值与最小值之比为 3.15。图 2 为灌区 1960-2008 年平均降水量距平曲线,由灌区年降水量距平曲线图可知,灌区多年降水量正负距平基本持平,偏多时期与偏少时期呈周期交替出现。

表 1 多年平均降水量统计特征值 mm

总数	平均值	标准差 σ	变差系数 C_v	偏度系数 C_s
49	185.488	54.045	0.291	0.200

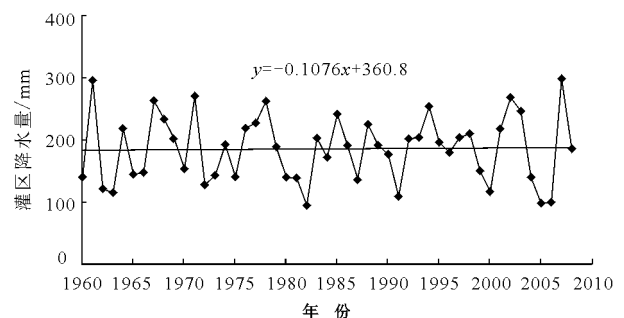


图 1 1960-2008 年灌区年降水量变化趋势图

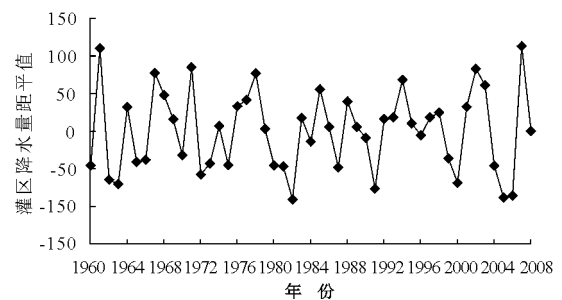


图 2 1960-2008 年灌区年降水量距平曲线图

采用 Mann-Kendall 趋势检验法计算,得出 1960-2008 年 49 a 年降水量趋势检验值为 0.209,该值是大于 0 的,表明景泰川灌区年降水量变化趋

势为增加趋势,又是小于临界检验值 ± 1.96 ^[26-28],说明趋势变化不显著。同时,也得出灌区多年各月降水量趋势检验值,如表2所示。由表2可看出,4、8、11、12月4个月趋势检验值为负值,表明在这4

个月灌区降水量变化趋势为下降趋势,其他月份趋势检验值均大于0,为增加趋势。其中,4月份的降水量趋势检验系数为-1.832,最接近临界检验值,但仍小于-1.96,故仍未通过检验,变化不显著。

表2 1-12月降水量 Mann-Kendall 检验系数统计表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
检验系数	1.280	0.468	0.962	-1.832	0.134	1.506	0.510	-0.468	0.134	0.142	-0.435	-0.351

注:全年降水量 Mann-Kendall 检验系数为0.209。

采用 Mann-Kendall 突变检测法进行灌区年降水量序列突变检测,根据突变检测法原理,由图3所示,灌区降水量没有发生突变现象, UF_k 和 UB_k 两条变化曲线在上下临界线之间,说明变化趋势不显著。

3.1.2 降水量季变化特征 灌区各季按3、4、5月为春季,6、7、8月为夏季,9、10、11月为秋季,12月至次年2月为冬季划分,灌区多年平均各季降水量年内变化过程见表3。由表3可知,降水在各灌季分配不同,降水量夏季最大,占多年平均降水量的57.4%,其次是秋季、春季,冬季最小。在四季中,春秋降水呈下降趋势,夏秋降水量呈上升趋势,但均变化不明显。这些趋势由图4的各季节降水量变化趋势线明显可看出夏、冬季的降雨量呈增加趋势,春、秋季呈减少趋势。

3.1.3 降水量月变化特征 由表4灌区降水量不同月份统计表可以看出,降水在年内分配极不均匀。5、6、7、8、9月5个月份降水量较大,占多年各月平均降水量总量的84%。其他月份较少仅占16%。年内降水量变化趋势整体呈现先升后降趋势,变化趋势较明显。从1

月份的0.93mm逐渐上升,到8月份时达到最大为43.71mm,之后又逐渐慢慢下降到0.3mm。

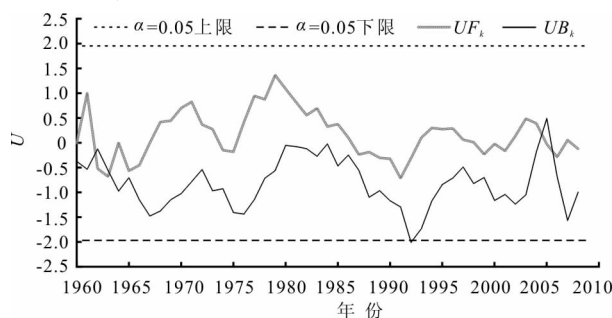


图3 景泰川灌区年降水量 M-K 法检测图

表3 1960-2008年灌区降水量季统计表 mm

年代	春季	夏季	秋季	冬季
60	13.31	33.34	15.64	0.37
70	8.90	37.01	17.56	0.62
80	11.72	34.47	10.64	0.98
90	10.95	39.65	11.55	0.76
2000-2008	10.99	32.59	16.99	1.10
49 a 平均	11.18	35.47	14.42	0.76

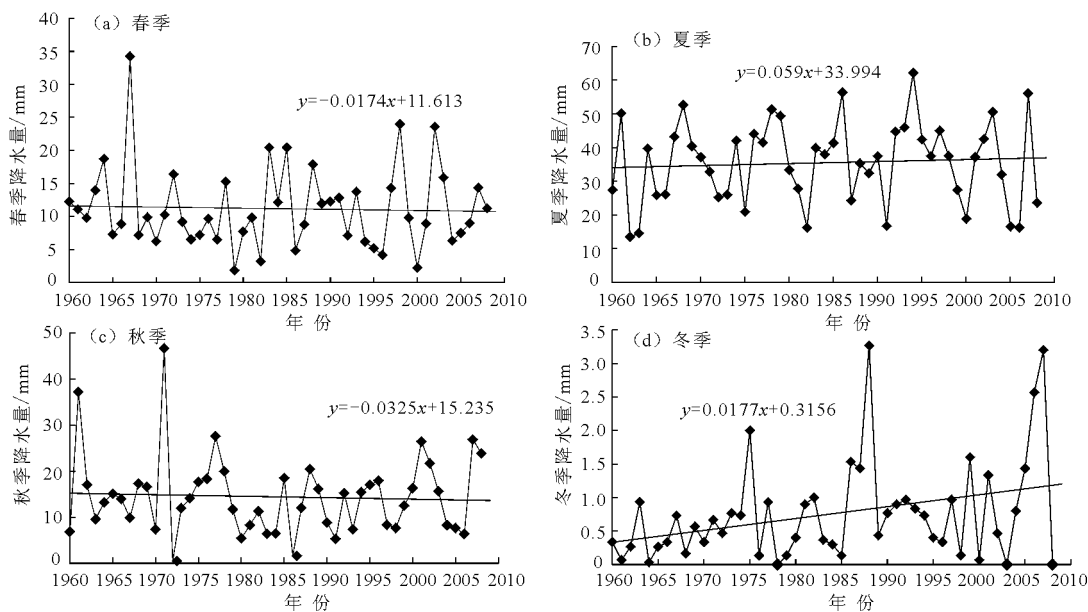


图4 1960-2008年灌区季降水量变化图

表 4 1960 - 2008 年降水量月统计表

年代	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
60	0.48	0.42	4.40	14.46	21.08	17.65	30.87	51.50	30.65	13.99	2.28	0.07
70	0.50	0.92	2.70	6.61	17.40	19.38	47.46	44.19	38.56	11.10	3.02	0.53
80	0.63	1.82	2.57	11.60	20.98	35.90	26.11	41.39	19.59	11.67	0.66	0.42
90	0.57	1.10	7.58	7.69	17.58	22.17	52.49	44.30	22.15	11.71	0.78	0.24
2000 - 2008	2.64	0.93	4.23	6.08	22.66	32.09	29.26	36.43	35.77	13.44	1.74	0.24
49 a 平均	0.93	1.04	4.30	9.35	19.88	25.30	37.40	43.71	29.21	12.36	1.70	0.30

3.2 蒸发量变化特征

3.2.1 蒸发量年变化特征 由灌区气象站 1960 - 2008 年蒸发量资料,得到整个灌区 49 a 蒸发量的统计特征值(见表 5),图 5 为 1960 - 2008 年景泰川灌区年蒸发量的变化趋势图,由图 5 中趋势线方程 $y = -27.189x + 3234$ 可看出,49 a 间灌区的年蒸发量为下降趋势。20 世纪 60 - 70 年代初期、70 年代后期 - 21 世纪,灌区蒸发均比较稳定,最大值出现在 1960 年为 3 556.1 mm,最小值出现在 1992 年为 1 881.4 mm,灌区多年平均蒸发量为 2 554.25 mm,其中 49 a 间有 31 a 低于均值。

表 5 灌区蒸发量 Mann - Kendall 检验系数统计表 mm

总年份	平均值	标准差 σ	变差系数 C_v	偏度系数 C_s
49	2554.25	515.20	0.202	0.65

采用 Mann - Kendall 趋势检验法计算分析,景泰川

表 6 灌区 1 - 12 月蒸发量 Mann - Kendall 检验系数统计表

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-3.229	-1.924	-2.928	-2.844	-5.387	-4.735	-4.751	-4.785	-3.647	-2.367	-1.489	-2.016

注:全年蒸发量 Mann - Kendall 检验系数为 -4.676。

采用 Mann - Kendall 突变检测法对年蒸发量序列进行突变检测,见图 6。由图 6 可知, UF_k 和 UB_k 两条变化曲线在 1972 年左右相交,1972 年出现降低的突变,1974 年开始剧降,下降幅度大约为 481.4 mm,表明在 70 年代灌区年蒸发量产生了突变性的下降变化。

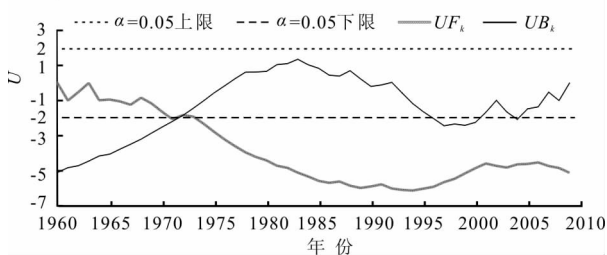


图 6 景泰川灌区年蒸发量 M - K 法检测

灌区多年年蒸发量趋势检验系数值为 -4.676,小于 0,表明年蒸发量趋势呈下降趋势,而大于临界检验值 ± 1.96 ,则变化显著。同时表 6 中也列出灌区多年各月蒸发量趋势检验系数值,可看出各月趋势检验系数值均小于 0,表明灌区多年月蒸发量变化趋势呈下降趋势。除 2 月和 11 月份外,其他各月均通过显著性检验。其中,5 - 8 月 4 个月的检验系数分别为 -5.387, -4.735, -4.751, -4.785,下降趋势最为明显,而这几个月中,6 月、7 月、8 月 3 个月为夏季,为此在灌区整个季节中,下降趋势最为明显的是夏季。

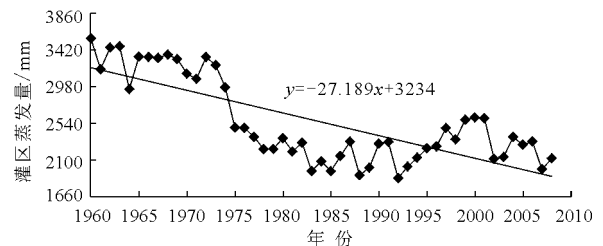


图 5 灌区年蒸发量变化趋势图

3.2.2 蒸发量季变化特征 表 7 为 1960 - 2008 年灌区蒸发量季统计表。由表 7 可以看出,蒸发量在不同季节分配上表现出不同,蒸发量较大的为夏季和春季,各自占全年蒸发量的 40% 和 33%,其次是秋季,冬季最小,仅占全年蒸发量的 8%。在四季中,蒸发量在春、秋两季呈小幅度下降趋势。与 20 世纪 60 年代相比,2000 年至 2008 年春季的蒸发量减少了 97.92 mm,而秋季的蒸发量 2000 年至 2008 年减少了 54.89 mm。

夏季蒸发量在 80 年代 - 21 世纪较稳定,60 年代处于峰顶,80 年代初处于峰谷,蒸发量从 60 年代的 469.77 mm 下降到 80 年代的 281.67 mm,趋势最

为明显,冬季蒸发量变化不大,图7为1960-2008年灌区季蒸发量变化图。由图7可明显看出,春夏秋3季减少,冬季比较稳定。根据灌区各季蒸发量趋势变化线图,蒸发量在夏季下降趋势出现最大,趋势线斜率达到-4.699,在冬季的蒸发量表现出基本不变,趋势线斜率为-0.3483。

3.2.3 蒸发量月变化特征 由表8灌区蒸发量不同月份统计表可以看出,蒸发量在年内分配极不均匀。5、6、7、8月4个月份蒸发量较大,均在300mm以上,占多年各月平均蒸发量总量的55%。尤其5、6、7月3个月蒸发量甚至达到350mm以上,年内蒸发量变化趋势整体呈现先升后降趋势,变化趋势较

明显。由1月份的57.39mm逐渐上升,到6月份时达到最大为366.50mm,之后又逐渐慢慢下降到58.79mm,最大值与最小值之比为6.4。

表7 1960-2008年灌区蒸发量季统计表 mm

年代	春季	夏季	秋季	冬季
60	355.01	469.77	201.07	80.39
70	303.51	377.42	164.48	71.59
80	235.77	281.67	135.82	55.34
90	245.28	293.52	150.48	61.99
2000-2008	257.09	289.28	146.18	69.17
49a 平均	279.79	343.42	159.88	67.67

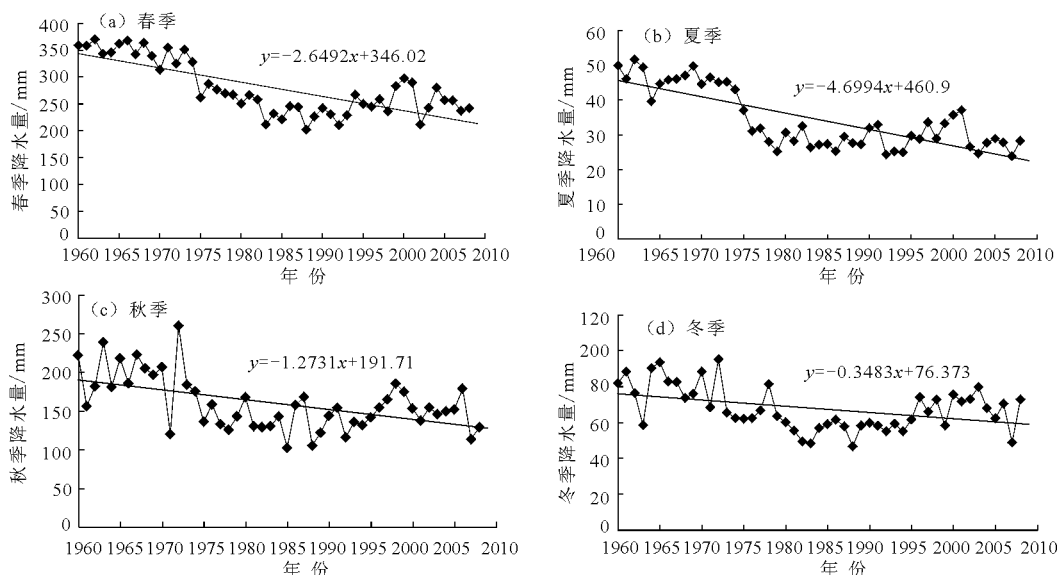


图7 1960-2008年灌区季蒸发量变化图

表8 1960-2008年灌区1-12月蒸发量月统计表 mm

年代	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
60	70.95	108.87	237.67	346.04	481.33	501.18	482.18	425.95	285.71	195.34	122.15	69.88
70	63.66	95.17	194.02	319.32	397.18	412.16	386.81	333.30	211.22	178.77	103.46	59.79
80	48.91	68.57	155.03	245.25	307.03	284.46	298.74	261.81	187.90	135.08	84.47	49.14
90	50.43	79.48	158.32	251.47	326.05	323.89	300.90	255.78	207.16	144.22	100.06	56.46
2000-2008	52.49	92.27	189.82	288.56	292.89	304.64	303.58	259.61	172.52	165.87	100.31	58.67
49a 平均	57.39	88.80	186.91	290.16	362.28	366.50	355.48	308.26	213.73	163.81	102.13	58.79

4 结论

研究选择景泰川灌区景泰气象站点1960-2008年的降水量和蒸发量资料,运用Mann-Kendall趋势检验法和非参数Mann-Kendall突变检测法分析水循环要素降水量、蒸发量的年、季、月时间变化特征,主要研究结论如下:

(1)1960-2008年,灌区多年降水量的正负距平幅度大致相同,降水偏多、偏少的时期呈周期交替现象出现;灌区年蒸发量有所下降,60-70年代初期、70年代后期-21世纪,灌区蒸发均比较稳定,灌区多年平均蒸发量为2554.25mm,在研究期的49a中,有31a的蒸发量低于此值,其中3a数值明显低于均值。

(2)在夏季季风气候影响下,灌区夏季降水量占全年降水量的57.4%,为四季最大,其次是秋季、春季,冬季为最小;夏、春季蒸发量分别占全年蒸发量的40%和33%,为主要的蒸发集中时间,秋季蒸发量次之,而冬季蒸发量仅占全年蒸发量的8%,为全年最少。

(3)由降水、蒸发月变化特征分析可知,降水、蒸发在年内各月分配极不均匀。降水在5、6、7、8、9月5个月份降水量较大,占多年各月平均降水量总量的84%。其他月份较少仅占16%;蒸发量在5、6、7、8月4个月份蒸发量较大,均在300 mm以上,占多年各月平均蒸发量总量的55%。

(4)根据灌区年降水量与年蒸发量M-K检测图显示,灌区年降水量没有发生突变现象;年蒸发量1972年发生降低的突变,1974年开始剧降,下降幅度大约为481.4 mm。

(5)研究成果可揭示变化环境条件对水循环要素的影响,对定量分析研究灌区水资源形成和变化规律,正确评估变化环境条件对未来沿黄灌区水资源的影响具有重要的科学意义,也对协调灌区人地关系,促进经济快速发展、水资源合理高效利用,维持生态环境、生态系统良性循环提供理论基础^[29]。

参考文献:

- [1] 杨广. 节水条件下玛纳斯河流域水循环过程模拟研究[D]. 石河子:石河子大学,2017.
- [2] 赵文字,刘海隆,王辉,等. 不同排放情景下塔里木河流域近52年水循环要素变化及未来趋势的分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2015,33(4):497-504.
- [3] 马建琴,和鹏飞. 1951-2013年周口地区降水时空变化特征研究[J]. 华北水利水电学院学报,2017,38(2):20-24.
- [4] 杨焯,陆桂华,吴志勇,等. 金沙江上游流域水文循环要素变化特征分析[J]. 水电能源科学,2012,30(3):8-10.
- [5] 宋晓猛,张建云,占车生,等. 气候变化和人类活动对水文循环影响研究进展[J]. 水利学报,2013,44(7):779-790.
- [6] 钱筱暄. 淮北平原水文循环要素时空演变规律研究[D]. 扬州:扬州大学,2011.
- [7] 许善洋,石培宏,薛治国. 塔里木盆地西缘山地降水量变化特征研究[J]. 水电能源科学,2018,36(3):6-9+5.
- [8] 何海,陆桂华,闫桂霞. 塔里木河流域水文循环要素变化特征分析[J]. 水电能源科学,2010,28(2):13-15+43.
- [9] 周林飞,许士国,刘大庆. 扎龙湿地水循环要素变化特征与水资源管理[J]. 水力发电学报,2008,27(6):56-61.
- [10] 李洋. 石羊河流域水循环要素变化特征研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学,2008.
- [11] 蓝永超,吴素芬,钟英君,等. 近50年来新疆天山山区水循环要素的变化特征与趋势[J]. 山地学报,2007(2):177-183.
- [12] 孟彩侠. 基于不同方法的和田绿洲水循环要素变化特征研究[D]. 西安:西安理工大学,2006.
- [13] 沈冰,黄领梅,阮本清,等. 和田绿洲水循环要素变化特征[J]. 水利学报,2003,34(5):78-83.
- [14] 胡玉枝. 景泰电力提灌工程人工绿洲环境效益分析[D]. 兰州:兰州大学,2007.
- [15] HAMED K H. Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis[J]. Journal of Hydrology, 2008, 349(3-4):350-363.
- [16] KISI O, AY M. Comparison of Mann-Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey [J]. Journal of Hydrology, 2014, 513:362-375.
- [17] 鞠彬,叶文,胡丹. 新疆额尔齐斯河流域降水量变化特征及趋势分析[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(4):115-119.
- [18] 徐盼盼,王海科,钱会,等. 铜川市降水变化及趋势预测分析[J]. 水资源与水工程学报,2016,27(3):82-86+90.
- [19] 张东艳,吴运卿,李妮. 基于Mann-Kendall检验的尼洋河流域水文变量演变趋势分析[J]. 中国农村水利水电,2017(12):86-89.
- [20] 刘蕊蕊,魏晓妹. 石羊河流域水循环要素变化特征研究[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(6):33-36.
- [21] 何佳,薛亚永,周旗,等. 近63年陕西宝鸡极端强降水事件变化特征诊断[J]. 水资源与水工程学报,2016,27(5):53-58.
- [22] 雷慧闽,蔡建峰,杨大文,等. 黄河下游大型引黄灌区蒸散发长期变化特性[J]. 水利水电科技进展,2012,32(1):13-17.
- [23] 姚俊强,杨青,毛炜峰,等. 西北干旱区大气水分循环要素变化研究进展[J]. 干旱区研究,2018,35(2):269-276.
- [24] 代锋刚. 陕西省泾惠渠灌区农业节水对地下水空间分布影响及模拟[D]. 杨陵:西北农林科技大学,2012.
- [25] 付军. 环境变化对区域水循环要素及水资源演变影响的研究[D]. 天津:天津大学,2016.
- [26] 李环环,卢玉东,张天宇,等. 山西省孝义市近40年气候变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(4):35-39.
- [27] 刘俊萍,周俊杰,邹先柏. 渭河流域宝鸡段气温及降水突变分析[J]. 浙江工业大学学报,2018,46(4):423-428+472.
- [28] 毛翠翠,平建华,左其亭. 中国中部典型半湿润半干旱区近40年来气候变化特征[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(3):34-40.
- [29] 李峰平,章光新,董李勤. 气候变化对水循环与水资源的影响研究综述[J]. 地理科学,2013,33(4):457-464.