

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2019.04.008

秦岭南北典型流域径流变化规律的对比研究

柯新月, 汪妮

(西安理工大学 省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: 为探索秦岭南北典型流域径流特征,选择灞河流域和旬河流域为典型流域,根据马渡王与向家坪水文站 1956—2011 年实测径流及流域降雨资料,采用 Mann-Kendall 趋势检验法和 R/S 法等分析径流演变规律,预测其未来变化趋势。利用滑动 t 检验、Mann-Kendall 突变检验和双累积曲线法辨识径流序列突变点,确定基准期,采用径流还原法定量计算气候变化和人类活动对灞河及旬河径流的影响程度。结果表明:两流域径流变化趋势在 1980 年前具有相似性,1981 年起相似性降低,但总体均呈现显著下降趋势且未来将持续减少,灞河流域径流下降趋势更为明显;在 1956—2011 年间,灞河流域突变年为 1972、1992 年,旬河流域突变年为 1981 年,不具有 consistency。径流还原法分析结果表明:人类活动因素是导致两流域径流减少的主要原因,灞河流域径流减少受到人类活动的影响率为 78.67%,旬河流域径流减少受到人类活动的影响率为 98.58%。

关键词: 秦岭南北; 径流变化; 归因分析

中图分类号: P333.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2019)04-0452-07

Comparative study on the variation of runoff in typical basins of northern and southern regions of Qinling Mountains

KE Xinyue, WANG Ni

(State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Taking Bahe Basin and Xunhe Basin in the northern and southern regions of the Qinling Mountains as typical basins, the characteristics of runoff have been explored. On the basis of runoff and precipitation data from the two river trunk stream hydrometeorological stations from 1956 to 2011, this paper adopts Mann-Kendall trend test, R/S method and other methods to analyze the trend of runoff evolution and predict the future runoff trend. Using the sliding t test, Mann-Kendall mutation test and double cumulative curve method to analyze the runoff mutation, these methods can be employed to determine the mutation year and the reference period. Using the runoff reduction method analyzes the contribution rate of the runoff change of the two basins caused by climate change and human activities. The results show that the runoff of the two basins has a high correlation until 1980, with both of these overall trends showing a significant decline and might continue to decrease in the future. From 1956 to 2011, the Bahe Basin mutation years are 1972 and 1992, but the Xunhe Basin's is 1981. The results of runoff reduction analysis show that the human activities in the two basins is the main factor for the decline of the runoff, and that the contribution rates of human activities on the two basins are 78.67% and 98.58%.

Key words: northern and southern regions of Qinling Mountains; runoff change; attribution analysis

降雨和径流是水循环过程中的重要环节,它们的变化在整个水资源系统的演化中起着主导作用,

然而,近年来在气候变化和人类活动的双重影响下,河川径流发生了不同程度的变化^[1-3],对社会生产和

收稿日期: 2019-03-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51979221);西安理工大学省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室自主研究课题资助项目(2019KJCXTD-5);国家重点研发计划资助项目(2016YFC0401408)

作者简介: 柯新月,女,硕士生,研究方向为水资源规划与管理。E-mail: akexinyue@163.com

通讯作者: 汪妮,女,教授,博导,博士,研究方向为水文学及水资源。E-mail: wangni@xaut.edu.cn

人民生活造成了重大影响,径流变化规律的研究引发了诸多学者的关注。张建云等^[4]应用1950年以来中国六大流域19个重点控制水文站的年径流观测资料研究发现,六大江河的实测径流量均呈下降趋势。孙甲岚等^[5]基于长江上游67个气象站点及主要干流水文站1961—2005年逐日平均气温及降水量数据分析发现,长江上游年降雨有降低趋势。李二辉等^[6]对黄河干流陕县站和河口镇站1919—2010年径流量演变过程的分析表明,区域面平均降水量趋势性变化不显著,而上中游年径流量自1985年以来呈显著减少趋势。周帅等^[7]通过分析黄河源区12个气象站1960—2010年共51a降水和潜在蒸发资料,发现人类活动是导致黄河径流量改变的主要因子,占比为67.62%。

秦岭山脉不仅是中国南北方的天然分界线,也是著名的生物资源宝库和长江、黄河两大水系重要的水源涵养区,具有独特的区位与生态优势。2015年,陕西省提出将建设秦岭国家公园作为加快生态文明制度建设的重要实践,并写入了《“十三五”生态环境保护规划》、西安市《大秦岭西安段保护利用总体规划》和《大秦岭西安段生态环境保护规划》。摸清水资源分布及其规律性对生态环境的保护和恢复、生物多样性的维护意义重大,以水资源承载生态建设与保护是秦岭国家公园建设的前提与基础。马新萍等^[8]基于1959—2010年灞河流域马渡王水文站的实测径流量数据分析认为,人类活动的影响是导致灞河流域径流发生变化的主要因素,不同时期人类活动对径流的影响率不同,降水变化是次要原因。张晓龙等^[9]基于月河和灞河流域1960—2010年逐月径流资料分析认为,两流域径流深未来会持续下降,灞河流域持续性略大于月河流域。为贯彻落实生态文明建设的需求,本文基于前人研究成果,在秦岭陕西段南北两坡分别选择灞河与旬河作为代表流域,应用Mann-Kendall非参数统计检验法(M-K检验)、R/S法、滑动 t 检验法和双累积曲线法等分析实测径流序列突变性及其未来变化趋势,通过径流变化的主要影响因素的识别对秦岭南北坡径流特征进行分析对比,为构筑秦岭国家公园“山、水、田、城”生态格局提供水文依据。

1 资料与方法

1.1 研究区域

灞河是渭河右岸一级支流,位于陕西省西安市东南部,地理坐标为 $109^{\circ}00' \sim 109^{\circ}47' E$, $33^{\circ}50' \sim 34^{\circ}27' N$,发源于秦岭以北的陕西蓝田县箭峪岭,向南流经灞塬,在蓝田

县有辋峪河汇入,在未央区谭家堡有浐河汇入,向北经10 km于灞桥区三郎村汇入渭河,河长78 km,流域面积为2 581 km²。灞河地势南高北低,上中游段水系较为发育,面积大于10 km²的支流毛沟共61条。

旬河是汉江左岸一级支流,位于陕西省商洛市西南部和安康市东北部,发源于陕西省西安市长安区和陕西省安康市宁陕县交界的秦岭中段沙沟岭南侧,南北长约218 km,集水面积6 703 km²。地势北高南低,支流共42条,包括乾佑河、达仁河、月河、麻坪河、东川河等,其中乾佑河为最大支流。

秦岭陕西段包括汉中、商洛、安康、渭南、宝鸡、西安6个市39个县级行政区,53条入汉江支流和19条入渭河支流(长度40 km以上),其中汉江流域占秦岭地区总面积的61.6%,渭河流域占秦岭地区总面积的23.9%。

灞河属渭河一级支流,流经陕西省的省会城市西安,旬河属汉江在秦岭南坡的主要支流,与灞河隔山相望。故本文选择灞河、旬河流域作为秦岭南北坡河流的代表以分析秦岭南北水文差异及其规律性,两流域在秦岭陕西段中的位置如图1所示。

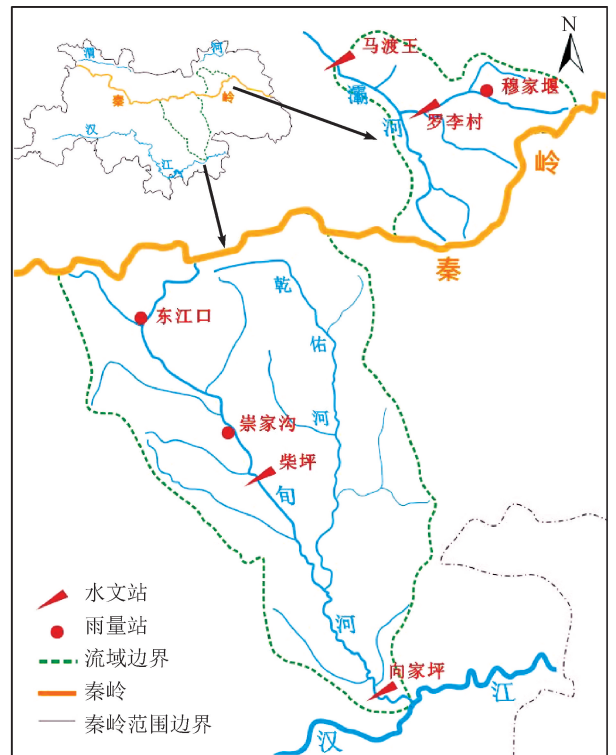


图1 灞河与旬河流域站点图

Fig.1 Stations of Bahe river and Xunhe river basin

1.2 数据来源

径流资料采用灞河干流马渡王水文站和旬河干流向家坪水文站的观测数据;降雨资料采用灞河流域罗李村水文站、穆家堰雨量站和旬河流域柴坪水

文站、崇家沟雨量站、东江口雨量站的观测数据,系列长度均为1956—2011年。

马渡王水文站位于灞河下游,控制流域面积1 601 km²,是关中中部渭河南岸大面积区域代表站;向家坪水文站属旬河河口控制水文站,集水面积6 448 km²。在充分收集、整理现有资料的基础上,采用算术平均法获得马渡王与向家坪水文站上游面平均降雨量。

1.3 研究方法

本文采用滑动平均法^[10]、Mann-Kendall 趋势检验法^[11]和R/S法^[12]分析两流域径流变化趋势特征并对未来径流量进行预测。利用滑动 t 检验^[13]、Mann-Kendall 突变检验法^[14]、双累积曲线法^[15]等方法综合分析径流突变情况,判断突变年,确定基准期,并通过径流还原法^[16]分析气候变化和人类活动对径河流域径流深变化的贡献率。

径流还原法原理:将突变年作为基准期与变化期的交界点进行划分。假设基准期累积降雨量(ΣP)与累积径流量(ΣQ)线性关系为:

$$\sum Q = k \sum P + b \quad (1)$$

假设变化期与基准期的气候变化同步,则将式(1)得出的变化期径流模拟值与径流实测值的差值定义为径流受人类活动影响的变化量:

$$\Delta Q_{\text{human}} = \text{mean}(Q_{2c}) - \text{mean}(Q_{2m}) \quad (2)$$

同上,可将变化期径流实测值与基准期径流实测值的差值定义为径流受气候变化和人类活动共同影响的变化量:

$$\Delta Q = \text{mean}(Q_{2m}) - \text{mean}(Q_{1m}) \quad (3)$$

式中:mean表示取均值;1、2分别表示基准期与变化期;c、m分别表示模拟值与实测值。

2 结果与分析

2.1 径流变化趋势对比

根据灞河流域和旬河流域1956—2011年径流数据,绘制径流年际变化趋势图,如图2所示。

由图2(a)可以看出,灞河流域和旬河流域1980年前的径流变化趋势具有较高的相关性,呈波动下降趋势,1981年径流变化趋势出现差异,相关性骤降。为使趋势变化更为直观,对数据进行滑动平均,由图2(b)可以看出,灞河流域和旬河流域近50年来径流变化总体呈现下降趋势,灞河流域下降趋势更为明显。选用Mann-Kendall 趋势检验法及R/S法对灞河流域和旬河流域径流变化趋势进行进一步分析。经检验,马渡王站肯德尔秩次相关检验统计量 $Z = -2.6503$,向家坪站统计量 $Z = -2.1839$,绝对值均大于1.96(在0.05

显著性水平下的临界值),说明两流域径流均呈现显著的下降趋势。用R/S法对两流域径流未来变化趋势进行预测,如图3所示,径流序列拟合效果良好,灞河流域年径流Hurst指数 H 为0.7053 >0.5 ,旬河流域年径流Hurst指数 H 为0.9259 >0.5 ,表明灞河及旬河年径流量时间序列均呈现正的持续性,即与现有的规律一致,将持续减少。

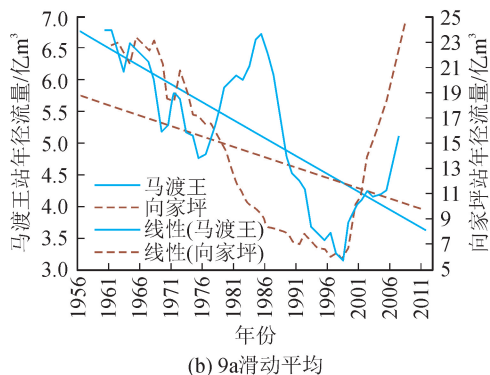
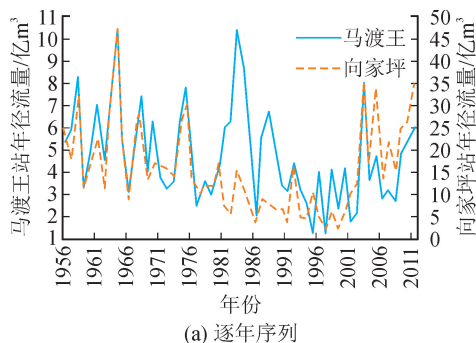


图2 灞河与旬河年径流变化趋势图

Fig. 2 Curves of annual runoff in Bahe and Xunhe river

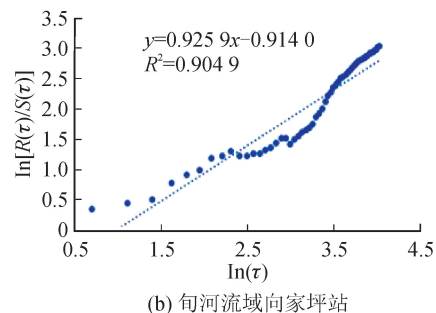
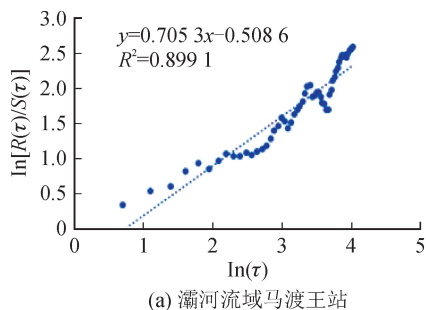


图3 灞河及旬河径流序列的R/S分析

Fig. 3 Annual runoff R/S analysis of Bahe and Xunhe river

2.2 径流突变点分析

采用滑动 t 检验法、Mann-Kendall 突变检验法、双累积曲线法对灞河及旬河流域径流序列进行变异分析。

取步长为 6, 显著性水平 $\alpha=0.05$, 查表得 t 临界值为 ± 2.23 。滑动 t 检验结果如图 4 所示。由图 4(a) 可知, 灞河流域于 1989 年和 1992 年出现两点极大值且通过显著性水平检验; 由图 4(b) 可知, 旬河流域 t 统计量于 1975 年、1981 年和 1983 年出现极大值, 于 2000 年后出现极小值, 且通过显著性水平检验(其中 2000 年后处于序列尾段的数据误差较大, 在此可忽略不计)。故通过滑动 t 检验法判断 1989 年和 1992 年为灞河流域年径流突变年, 1975 年、1981 年和 1983 年为旬河流域年径流突变年。

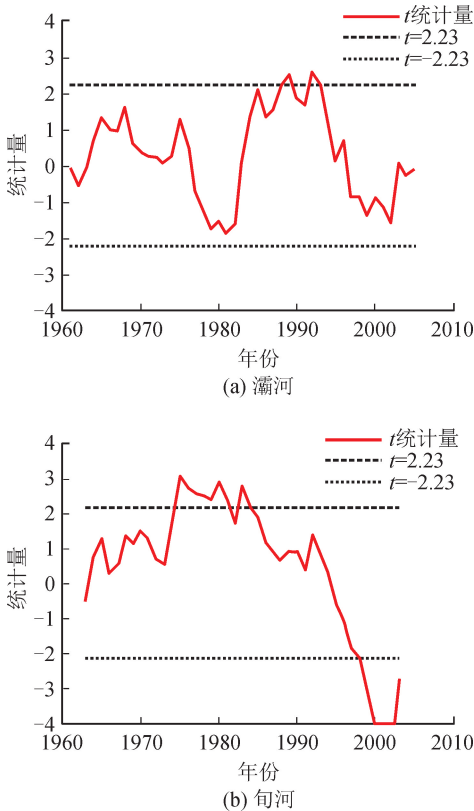


图 4 灞河及旬河径流序列的滑动 t 检验图
Fig. 4 Curves of sliding t -test technique of annual runoff in Bahe and Xunhe river

取显著性水平 $\alpha=0.05$, 查表得 U 临界值为 ± 1.96 , Mann-Kendall 检验结果如图 5 所示。由图 5(a) 可知, UF 和 UB 曲线相交于 1972 年、1974 年、1976 年、1983 年, 由图 5(b) 可知, UF 和 UB 曲线相交于 1970 年, 且交点均位于两界限之间。故通过 Mann-Kendall 法判断 1972 年、1974 年、1976 年、1983 年为灞河流域年径流突变年, 1970 年为旬河流域年径流突变年。

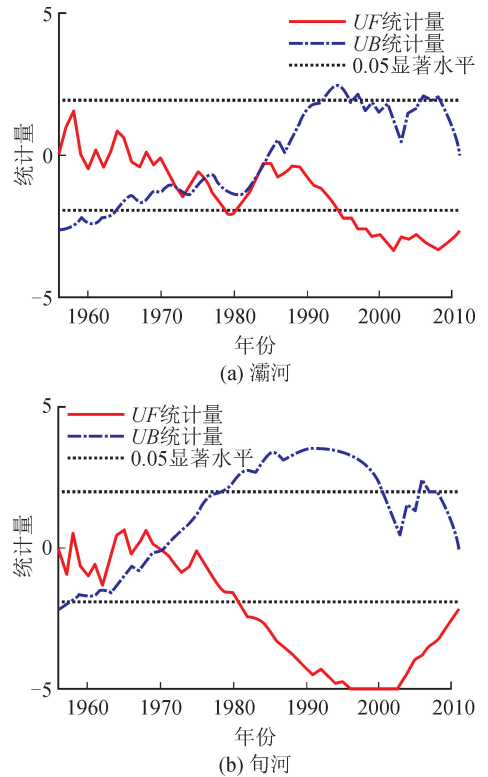


图 5 灞河及旬河径流序列的 M-K 检验图
Fig. 5 Curves of Mann-Kendall technique of annual runoff in Bahe and Xunhe river

根据灞河及旬河流域降雨径流数据绘制双累积曲线图, 如图 6 所示。

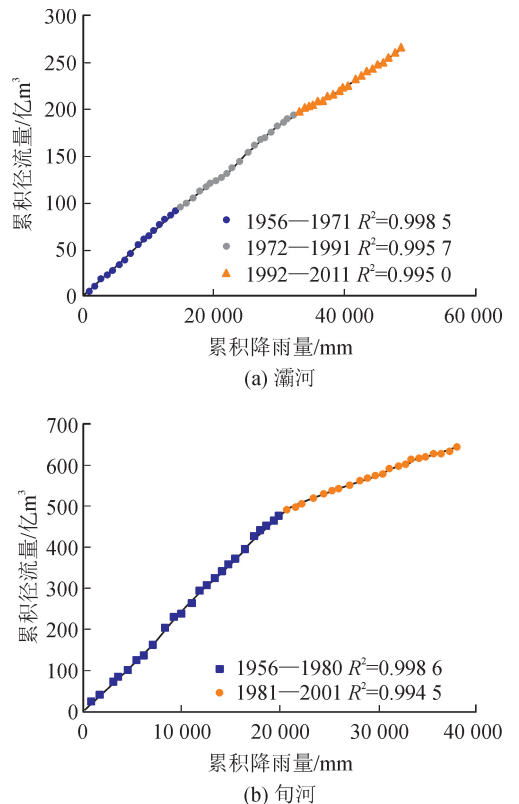


图 6 灞河及旬河双累积曲线图
Fig. 6 Double mass curve of the precipitation and runoff in Bahe and Xunhe river

由图 6(a)可知,灞河流域降雨径流双累积曲线于 1972 年、1992 年发生偏离,由图 6(b)可知,旬河流域双累积曲线于 1981 年发生偏离,分段拟合后,各区间接性相关系数均大于 0.99。该方法表明,灞河流域突变点为 1972 年和 1992 年,旬河流域突变点为 1981 年。对上述三种突变点求解方法进行综合分析,如表 1 所示。

表 1 突变检验成果表

Tab.1 Mutation test results table

流域	检验方法	突变点(年份)	最终采用(年份)
灞河	滑动 t 检验	1989、1992	
	M-K 检验	1972、1974、1976、1983	1972、1992
	双累积曲线	1972、1992	
旬河	滑动 t 检验	1975、1981、1983	
	M-K 检验	1970	1981
	双累积曲线	1981	

结果表明,各方法所得突变点存在一定差异,综合分析确定灞河流域在 1956—2011 年间存在两个径流突变点,分别为 1972 年和 1992 年,旬河流域在 1956—2011 年间存在一个径流突变点,为 1981 年,突变方向均为下降。结合趋势分析结果可知,两流域径流变化在 1956—1980 年间具有相似性,峰谷出现年份除 1972 年外基本一致,1981 年旬河径流发

生减小突变,致使两流域径流变化出现差异,1992 年灞河径流突变使差异进一步扩大。通过资料查阅,1972 年灞河流域马渡王水文站上游建成白马河水库,之后到 1982 年陆续建成赛峪水库、任家沟水库、跃进水库、三岔河水库和候家河水库共 6 座水库;1981 年旬河流域建成胜利水库。水利工程建设引起下垫面条件变化,并改变了原来的水循环过程,致使变化期内径流量减少。

2.3 径流变化影响因素分析

影响径流量的因素主要包括自然因素和人类活动两方面。其中,自然因素主要表现为地形、土壤等下垫面条件和气候条件,一般下垫面在较小时间尺度上认为是不发生改变的,因此主要考虑气候因素如降雨对径流量的影响;人类活动主要包括取用水、土地利用和水利工程等方面^[15]。2.2 节通过突变检验得到两流域的年径流突变点,由首个突变点可确定径流基准期。灞河流域径流突变点为 1972 年和 1992 年,根据突变点出现的年份将研究时间序列划分为三个时段,分别为 1956—1971 年、1972—1991 年、1992—2011 年;旬河流域径流突变点为 1981 年,划分为 1956—1980 年、1981—2011 年两个时段。对基准期降雨和径流时间序列进行拟合,得到回归方程,并根据方程计算变化期径流模拟值,利用径流还原法计算得到人类活动和气候变化对径流变化的影响量和贡献率,结果如表 2 所示。

表 2 降雨和人类活动对灞河及旬河流域径流量的影响

Tab.2 Influence of precipitation and human activities on runoff decline in Bahe and Xunhe river basin

流域	起止年份	降雨/ mm	年径流/亿 m ³			降雨		人类活动	
			实测	模拟	总影响量	影响量/亿 m ³	影响率/%	影响量/亿 m ³	影响率/%
灞河	1956—1971	883.92	5.73						
	1972—1991	897.28	5.07	5.88	0.65	-0.15	-23.26	0.81	123.26
	1992—2011	828.01	3.65	4.99	2.07	0.73	35.40	1.34	64.60
	1972—2011	862.64	4.36	5.44	1.36	0.29	21.33	1.07	78.67
旬河	1956—1980	825.48	19.63						
	1981—2011	821.92	12.57	19.53	7.06	0.10	1.42	6.96	98.58

由表 2 可知,灞河流域径流量从 1956—1971 年的 5.73 亿 m³减少到 1992—2011 年的 3.65 亿 m³,减少了 36.22%;旬河流域径流量从 1956—1980 年的 19.63 亿 m³减少到 1981—2011 年的 12.57 亿 m³,减少了 35.98%,两流域径流减少幅度大致相同。其中,灞河流域 1972—1991 年的平均降雨量为 897.28 mm,相较于基准期的平均降雨量增加了 13.36 mm,径流实测值却较基准期减少了

11.43%,说明这段时间人类活动对灞河流域径流产生了巨大影响,之后 1992—2011 年模拟径流量较基准期天然径流量下降了 12.82%,说明这段时间气候变化引起径流减少;两个突变期的实测径流量均明显小于模拟值进一步说明了时段内径流量受到人类活动的影响。

对两因子的影响量和贡献率进行分析计算发现,降雨和人类活动对灞河径流两个突变期的影响

率分别为-23.26%、123.26%和35.40%、64.40%。可以看出,人类活动是导致灞河径流量减少的主要因素,但影响程度在逐时段减少,总体贡献率为78.67%。

旬河流域1981—2011年平均降雨量为821.92 mm,相较于基准期的平均降雨量减少了0.43%,该时期径流实测值较基准期减少了35.98%,且时段内径流实测值明显小于模拟值,说明这段时间人类活动对旬河流域径流产生了巨大影响;突变期模拟径流量较基准期天然径流量变化不大,仅下降了0.51%,说明突变期径流的减少受气候变化的影响较小。对两因子的影响量和贡献率进行分析计算发现,降雨和人类活动对旬河径流减少的影响率分别为1.42%和98.58%。可以看出,人类活动是导致旬河径流量下降的主要因素。

3 结论与讨论

1) 灞河流域和旬河流域1980年前的年径流变化基本同步,1981年径流变化趋势出现差异,相关性开始降低,但均于20世纪末达到谷值后开始波动上升,总体呈现波动下降趋势。通过Mann-Kendall趋势检验法和R/S法可知,两流域年径流均呈现显著下降趋势,且未来会持续下降,灞河流域径流下降趋势更为明显。

2) 根据滑动 t 检验法、Mann-Kendall突变检验法和双累积曲线法,综合得出灞河流域突变年为1972年、1992年,旬河流域突变年为1981年,不具有一致性。分析认为,降雨和温度变化是导致1992年灞河径流突变的重要因素,而1972年的灞河径流突变和1981年的旬河径流突变则是受水利工程建设的影响。

3) 根据径流还原法定量计算降雨和人类活动对灞河流域和旬河流域径流变化的贡献率,结果表明,人类活动是导致两流域径流减少的主要因素。其中旬河流域径流减少受人类活动的影响率为98.58%;灞河流域径流减少(两个变化期)受人类活动的影响率分别为123.26%和64.40%,人类活动影响为主,但影响程度在逐时段减少。通过资料查阅,灞河流域降雨和气温均于1990年附近发生突变,降雨减少和气温升高均对径流量减少有直接的影响,导致气候变化对径流减少的贡献率开始增加,这与定量分析的结果相吻合。

4) 人类活动和气候变化是驱动径流变化的主要因素。在秦岭南北两个典型流域上,人类活动都是导致径流减少的主要因素。国家对水土流失的治

理、对自然环境的保护、对内陆地区城镇化建设的支持等都是人类活动成为主要因素的原因。秦岭地区生态建设与保护须以水资源承载力为前提,在径流持续减少的情况下,应尽量减少人类活动对径流量的影响,提高用水效率,加大节水力度,为秦岭地区生态环境的保护与恢复提供支持。

5) 本文对秦岭南北典型流域径流的变化情况作了初步分析,一定程度上反映了秦岭南北径流的变化规律,下一步将扩大研究区域范围,对秦岭陕西段由东到西空间上的分布规律进行对比分析,从而为秦岭地区生物资源的调查研究提供参考依据。

参考文献:

- [1] WANG Y, DING Y J, YE B S, et al. Contributions of climate and human activities to changes in runoff of the Yellow and Yangtze rivers from 1950 to 2008[J]. Science China: Earth Sciences, 2013, 56 (8): 1398-1412.
- [2] TAN X Z, GAN T Y. Contribution of human and climate change impacts to changes in streamflow of Canada [J]. Scientific Reports, 2015, 5: 17767.
- [3] 代稳,吕殿青,李景保,等. 气候变化和人类活动对长江中游径流量变化影响分析[J]. 冰川冻土, 2016, 38 (2): 488-497.
DAI Wen, LÜ Dianqing, LI Jingbao, et al. The effect of climate change and human activities on runoff in the middle reaches of the Yangtze River [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 38 (2): 488-497.
- [4] 张建云,章四龙,王金星,等. 近50年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J]. 水科学进展, 2007, 18 (2): 230-234.
ZHANG Jianyun, ZHANG Silong, WANG Jinxing, et al. Study on runoff trends of the six larger basins in China over the past 50 years [J]. Advances in Water Science, 2007, 18(2): 230-234.
- [5] 孙甲岚,雷晓辉,蒋云钟,等. 长江流域上游气温、降水及径流变化趋势分析[J]. 水电能源科学, 2012, 30 (5): 1-4.
SUN Jialan, LEI Xiaohui, JIANG Yunzhong, et al. Variation trend analysis of meteorological variables and runoff in upper reaches of Yangtze River [J]. Water Resources and Power, 2012, 30 (5): 1-4.
- [6] 李二辉,穆兴民,赵广举. 1919—2010年黄河上中游区径流量变化分析[J]. 水科学进展, 2014, 25 (2): 155-163.
LI Erhui, MU Xingmin, ZHAO Guangju. Temporal changes in annual runoff and influential factors in the upper and middle reaches of Yellow River from 1919 to 2010 [J]. Advances in Water Science, 2014, 25 (2): 155-163.

- [7] 周帅, 王义民, 郭爱军, 等. 气候变化和人类活动对黄河源区径流影响的评估[J]. 西安理工大学学报, 2018, 34 (2): 205-210.
ZHOU Shuai, WANG Yimin, GUO Aijun, et al. Assessment on impacts of climate change and human activities on runoff in source region of the Yellow River [J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2018, 34 (2): 205-210.
- [8] 马新萍, 白红英, 侯钦磊, 等. 1959年至2010年秦岭灞河流域径流量变化及其影响因素分析[J]. 资源科学, 2012, 34 (7): 1298-1305.
MA Xinping, BAI Hongying, HOU Qinlei, et al. Runoff change of Bahe River basin in Qinling Mountains and its influencing factors[J]. Resources Science, 2012, 34 (7): 1298-1305.
- [9] 张晓龙, 黄领梅, 沈冰. 秦岭南北典型流域径流特征及其降水变化响应[J]. 水电能源科学, 2015, 33 (1): 11-14.
ZHANG Xiaolong, HUANG Lingmei, SHEN Bing. Characteristics of runoff and its responses to rainfall change in typical basins of northern and southern regions of Qinling Mountains [J]. Water Resources and Power, 2015, 33 (1): 11-14.
- [10] 韩颖异. 碧流河流域茧场水文站径流变化分析[J]. 水利技术监督, 2019, (1): 179-182.
HAN Yingyi. Analysis of runoff change of Jianchang hydrological station in Biliuhe River Basin[J]. Technical Supervision in Water Resources, 2019, (1): 179-182.
- [11] 于延胜, 陈兴伟. R/S和Mann-Kendall法综合分析水文时间序列未来的趋势特征[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(3): 41-44.
YU Yansheng, CHEN Xingwei. Analysis of future trend characteristics of hydrological time series based on R/S and Mann-Kendall methods[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2008, 19(3): 41-44.
- [12] CHEN L H, WANG Y, TOUATI B, et al. Temporal characteristics detection and attribution analysis of hydrological time-series variation in the seagoing river of southern China under environmental change[J]. Acta Geophysica, 2018, 66 (5): 1151-1170.
- [13] WANG X J, ENGEL B, YUAN X M, et al. Variation analysis of streamflows from 1956 to 2016 along the Yellow River, China[J]. Water, 2018, 10 (9): 1231.
- [14] 徐东霞, 章光新, 尹雄锐. 近50年嫩江流域径流变化及影响因素分析[J]. 水科学进展, 2009, 20 (3): 416-421.
XU Dongxia, ZHANG Guangxin, YIN Xiongrui. Runoff variation and its impacting factor in Nenjiang River during 1956-2006. [J]. Advances in Water Science, 2009, 20 (3): 416-421.
- [15] 秦丽欢, 周敬祥, 李叙勇, 等. 密云水库上游径流变化趋势及影响因素[J]. 生态学报, 2018, 38 (6): 1941-1951.
QIN Lihuan, ZHOU Jingxiang, LI Xuyong, et al. Attribution analysis of changes in runoff in the upstream of the Miyun Reservoir [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38 (6): 1941-1951.
- [16] 张淑兰, 王彦辉, 于澎涛, 等. 定量区分人类活动和降水量变化对泾河上游径流变化的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24 (4): 53-58.
ZHANG Shulan, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al. Study for separating the impact of precipitation variation and human activities on runoff change of the upper reaches of Jing River [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24 (4): 53-58.

(责任编辑 周 蓓)