

淮河上游典型流域径流演变过程影响因素分析 ——以白莲崖流域为例

杨传清¹, 陈杭¹, 顾哲衍¹, 王蔚², 鞠靖¹, 陈立冬¹, 朱华刚¹

(1. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 225127, 江苏扬州; 2. 南京水利科学研究院, 210029, 南京)

摘要: 研究白莲崖流域径流变化特征及其与环境因子的关系, 可为区域防洪减灾、工农业生产及水土资源的合理利用提供决策依据。利用 Mann-Kendall 检验、Yamamoto 信噪比及交叉小波变换等方法对白莲崖流域 1970—2009 年径流变化特征及其与环境因子的关联性进行了分析。结果表明: 径流年内分配不均, 主要集中在 6、7 月份, 在 1983 年和 2004—2005 年径流发生 2 次突变; 径流存在 0.5~3 年的小周期变化现象; 径流和降水在 1986—1996 年 1~2 年以及 1998—2002 年 2.5~4 年周期上具有强关联性, 径流对降水响应较快, 大多数高能量时频域中表现为同相位关系; 径流和气温的相互影响主要集中在 1988—2000 年 1~3.8 年周期上, 气温的相位优先于径流, 径流对气温的响应具有时滞性; 研究区内径流总体上呈减少趋势, 主要下垫面因素为森林面积的增加和农田面积的减少。随着气候和下垫面状况的变化, 白莲崖径流年际年内都发生了显著变化, 与不同气候因子表现出不同关联特性。

关键词: 径流; 环境因子; 交叉小波

中图分类号: TV121 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2673(2020)01-0110-07

DOI: 10.16843/j.sswc.2020.01.013

Analysis on influencing factors of runoff evolution in typical watershed of the upper Huaihe River: Illustrated by the case of the Bailianya basin

YANG Chuanqing¹, CHEN Hang¹, GU Zheyang¹, WANG Wei², JU Jing¹, CHEN Lidong¹, ZHU Huagang¹

(1. Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co. Ltd., 225127, Yangzhou, Jiangsu, China;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, 210029, Nanjing, China)

Abstract: [**Background**] For last 30 years, the global temperature rose with the influence of the precipitation spatial distribution pattern. Economic and social development, the spatial and temporal of the runoff varied significantly, and its evolution also showed a strong randomness at the same time. The Bailianya river basin is located in Dabie mountain, which is the watershed between Yangtze River basin and Huaihe River basin. The study on the characteristics of runoff change in the Bailianya river basin and its relationship with environmental factors may provide decision-making basis for regional flood control and disaster reduction, industrial and agricultural production and rational utilization of soil and water resources. [**Methods**] The variation characteristics of the runoff of Bailianya basin and its correlation with major environmental factors from 1970 to 2009 was detected through the Mann-Kendall test, Yamamoto method of signal-to-noise ratio and the cross wavelet transform analysis. The relationship between time series of environmental factors and runoff in different frequency domain was revealed using cross wavelet analysis. The response of runoff to the change of underlying surface elements was also clarified based on the analysis of remote sensing images in 3 stages. The coupled oscillations of runoff time series, precipitation and air temperature in Bailianya river basin were investigated from the frequency

收稿日期: 2018-07-16 修回日期: 2019-08-06

项目名称: 国家自然科学基金“基于多角度遥感信息的土壤侵蚀模型植被覆盖与管理措施因子 C 定量反演研究”(31200534)

第一作者简介: 杨传清(1986—), 男, 工程师。主要研究方向: 水土保持规划与设计研究。E-mail: 513028572@qq.com

domain, which reflected the correlation between runoff and climatic factors on different time scales.

[**Results**] 1) The distribution of runoff was uneven during the year and mainly concentrated in June and July. The 2 abrupt changes of runoff occurred in 1983 and 2004 – 2005. Runoff demonstrated a small cycle of 0.5 – 3 year(s). 2) There was strong correlation between runoff and precipitation at a cycle of 1 – 2 year(s) in 1986 – 1996 and at a cycle of 2.5 – 4 year(s) in 1998 – 2002. Runoff responded to precipitation fast with most high energy time-frequency domain characterized by phase relationship. 3) Interactions between the runoff and the temperature were mainly concentrated in a cycle of 1 – 3.8 year (s) in 1988 – 2000. The phase of temperature was prior to that of the runoff. Runoff responded to temperature with a time lag. The change of underlying surface elements strongly changed the nature of the surface of the basin, and had certain influence on the hydrological cycle at different time and space scales, causing the change of runoff and confluence conditions in the basin, and thus changing the hydrological process of the basin. Forest and farmland were the main underlying factors that caused runoff change in Bailianya basin, and had obvious influence on runoff change. With the increase of forest area and the decrease of farmland area, runoff showed a decreasing trend. [**Conclusions**] With the change of climate variation and underlying surface condition, the runoff of Bailianya river basin varies significantly in the interannual period and within a year, showing different correlation characteristics with different environmental factors. Precipitation in Bailianya river basin is the direct factor of the runoff change. The response of the runoff to air temperature is of time delay. Compared with forest, farmland is weak in rainfall interception and infiltration, and the conversion of farmland to forest will lead to the relative reduction of runoff.

Keywords: runoff; environment factors; cross wavelet transform

在气候因素、流域下垫面状况及人类活动的相互作用下,河川径流序列是一个非线性、弱相依且非常复杂的动态系统^[1]。近 30 年来,受降水空间分配格局、全球气温上升、经济社会发展等的影响^[2-4],河川径流发生了显著的时空变化,其演变过程既存在确定性的规律,同时也表现出强烈的随机性,对流域洪水涨落、水土流失现状及河流生态系统产生直接影响^[5]。自产流至汇流的开放式动态过程中,河川径流与外界进行着连续的物质能量交换,易受外界规律或不规律的干扰作用,从而表现出从日、月到千万年的多尺度径流变化现象^[6]。在多时间尺度上,揭示流域降水、气温等环境因子与径流的关联作用,在不同的时频域上分析各种径流影响因素对径流的作用机制,研究各因素变化对径流的影响非常重要^[7]。目前,多时间尺度分析主要用于诊断单一流域径流序列或单一气候要素序列的变化特征^[8]。研究流域径流变化特征及其与环境因子的关系,可为区域防洪减灾、工农业生产及水土资源的合理利用提供决策依据。

白莲崖流域是淮河流域上游的重要子流域之一,受到气候变化和人类活动的影响,流域内水资源发生了显著变化。笔者从频率域上考察白莲崖流域

径流时间序列与降水、气温序列的耦合震荡,研究不同时间尺度上径流与气候因素的关联特征,且通过对流域下垫面要素变化的定量分析,可以明确引起径流变化的主要下垫面驱动要素。

1 研究区概况

白莲崖流域位于大别山腹地、安徽省与湖北省交界处(图 1),流域主体位于安徽省霍山县境内(E 115°45' ~ 116°13', N 30°52' ~ 31°20'),是淮河流域西南片区子流域的重要组成部分,总面积 900 多 km²。大别山地势沿西南向东北方向下降,平均海拔约 734 m,相对高差达 1 600 m 左右。气候属亚热带湿润季风气候区,年平均气温 15 ℃,年平均降雨量 1 400 mm,植被类型以常绿落叶阔叶混交林为主。

2 材料与方法

2.1 数据来源及处理

所用径流和气象因素中的降雨数据为白莲崖流域总出水口处水文站的 1970—2009 年的逐月实测数据;气象因素中的日最高气温和日最低气温由美国国家环境预报中心(National Centers for Environ-

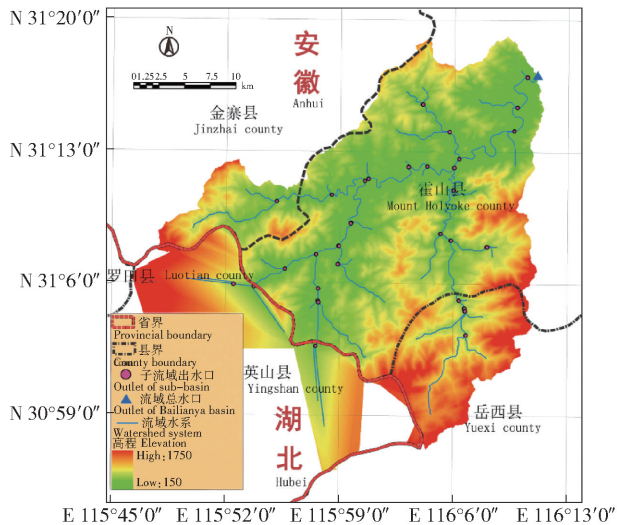


图 1 白莲崖流域区位图

Fig.1 Geographical location of Bailianya basin

mental Prediction, NCEP) 提供, 时间范围 1970—2009 年; 该数据集是气候再分析系统 (climate forecast system reanalysis, CFSR) 的主要产品, CFSR 作为全球尺度、高分辨率、大气-海洋-陆地表面-冰雪的耦合系统为大气参数提供了最佳估计, 在此基础上由极差均值法^[9]生成日平均气温数据; 流域下垫面数据由美国地质勘探局 (United States Geological Survey, 以下简称 USGS) 提供的 1987、1999 和 2009 年 3 期 Landsat 5 TM 影像经过经典的极大似然分类法得到, 总体分类精度约为 85%, 满足研究需要。

2.2 研究方法

2.2.1 径流年际变化特征分析法 Mann-Kendall (以下简称 MK) 是一种无分布趋势检验法, 该方法无需样本遵从正态分布, 适于水文、气象等时间序列的趋势检验分析^[10]。Yamamoto 方法是从气候信息与气候噪声 2 部分来讨论突变问题的^[11], 原理为对于时间序列 x , 设置某一时刻为基准点, 将时间序列分为 2 段子序列 x_1 和 x_2 , 记其均值为 $\bar{x}_1$ 和 $\bar{x}_2$, 标准差为 s_1 和 s_2 , 则定义信噪比为 $R_{SN} = |\bar{x}_1 - \bar{x}_2| / (s_1 + s_2)$ 。给定一定显著水平 α_0 , 确定临界统计量 t_α , 当 $R_{SN}\sqrt{L} > t_\alpha$ 且 $R_{SNI} > 1$, 则可判定突变发生, 式中 R_{SNI} 为 i 时刻的 R_{SN} 值, L 为子序列长度。

2.2.2 径流年代及年内分配特征分析法 采用径流集中度 (runoff concentration degree, RCD) 与集中期 (runoff concentration period, RCP) 为主要指标衡量径流年代及年内分配特征。径流集中度将月径流量作为向量, 其大小即为向量的模; 所处的月份即为向量的方向, 用圆周方位来表示; 各月径流向量的和向量模与年径流量的比值为年径流集中度, 方向为

年径流集中期。集中度能够客观反映径流的年内分配特性, 当径流量集中在某一月内时, RCD 达极大值 1; 若每个月的径流量都相等, 则 RCD 达极小值 0, 表明全年的径流量匀称分布于各月份。RCP 则客观地反映了一年最大径流量出现的时间^[12]。RCD 与 RCP 为量纲一的量, 计算公式如下:

$$RCD_{year} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} / R_{year}; \tag{1}$$

$$RCP_{year} = \arctan (R_x / R_y); \tag{2}$$

$$R_x = \sum_{i=1}^{12} r_i \sin \theta_i; \tag{3}$$

$$R_y = \sum_{i=1}^{12} r_i \cos \theta_i. \tag{4}$$

式中: RCD_{year} 为年径流集中度, 量纲一; RCP_{year} 为年径流集中期, 量纲一; R_{year} 为年径流量, m^3/s ; R_x 、 R_y 分别为年和向量的水平、垂直分量, m^3/s ; r_i 为第 i 月的径流量, m^3/s ; θ_i 为径流第 i 月的矢量角度, ($^\circ$)。

2.2.3 小波交叉分析法 RCD 传统的小波变换仅能揭示单一时间序列在不同时频域上的变化规律, 而交叉小波变换是将交叉谱分析与小波变换相结合的一种新的信号分析技术。设 $W_n^X(s)$ 、 $W_n^Y(s)$ 分别为 2 个时间序列 X 和 Y 的交叉小波变换, 定义交叉小波谱为 $W_n^{XY}(s) = W_n^X(s) W_n^Y(s)$, 则功率谱密度为 $|W_n^{XY}(s)|$, 其值越大, 二者相关越显著。对连续交叉小波功率谱的检验方法为: 假定时间序列 X 和 Y 的期望谱为红色噪音谱 P_k^X 和 P_k^Y , 则交叉小波功率谱分布有如下方程式^[5]:

$$\frac{|W_n^X(s) W_n^Y(s)|}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{Z_V(P)}{V} \sqrt{P_k^X P_k^Y}. \tag{5}$$

式中: σ_X 、 σ_Y 分别为时间序列 X 、 Y 的标准差, V 为自由度, $Z_V(P)$ 为置信度。计算红色噪音功率谱的 95% 的置信度上界, 当式 (4) 左端超过置信度上界, 则认红色噪音标准谱的检验, 两者相关显著。

3 结果与分析

3.1 径流年际变化特征

白莲崖流域 1970—2009 年年均径流量呈降低趋势 (图 2(a)), 年均减少速率约为 $0.15 m^3/s$ 。研究时段内白莲崖流域径流变化可分为 3 个主要阶段: 第 1 阶段为 1970—1975 年, 此期间流域受外界干扰较小, 径流年际变化幅度较小; 第 2 阶段 1975—1991 年, 随着当地生产力的解放, 工农业活动逐渐剧烈、农田水利工程建设完善等因素的影响, 流域径流亦出现了较大的振幅变化, 年际变化幅度多小于 $20 m^3/s$; 1990—1991 年, 仅 1 年时

间,径流变化幅度超过 $35\text{ m}^3/\text{s}$;究其原因,1991 年 5 月 21 日至 7 月 15 日的 56 d 时间内,淮河流域出现了多次强降水过程,遭受了自 1954 年以来最大的一次洪涝灾害,这次事件主要由梅雨造成,1991 年淮河以南 5 月 18 日入梅,较常年提早 1 个月,7 月 15 日出梅,梅雨期长达 58 d,比正常年份长了 1 个月^[13];因而 1991 年前后,白莲崖流域年均径流量出现异常波动现象,1991 年时,年均径流量达到峰值 $42.55\text{ m}^3/\text{s}$ 。第 3 阶段 1992—2009

年,净化变化幅度恢复至第 2 阶段 1975—1990 年振动幅度。

对年径流量序列进行连续小波变换(图 2(b)),径流序列呈 0.5~3 年的小周期变化,1975—1983 年,0.5~3 年的周期变化显著,1992—1997 年,0.5~2 年的周期变化显著。王振龙等^[14]对淮河干流的径流演变特征进行了分析,认为淮河干流年均径流量呈减少趋势,且存在以 2 年为主的周期规律,这与本文的分析是相符的。

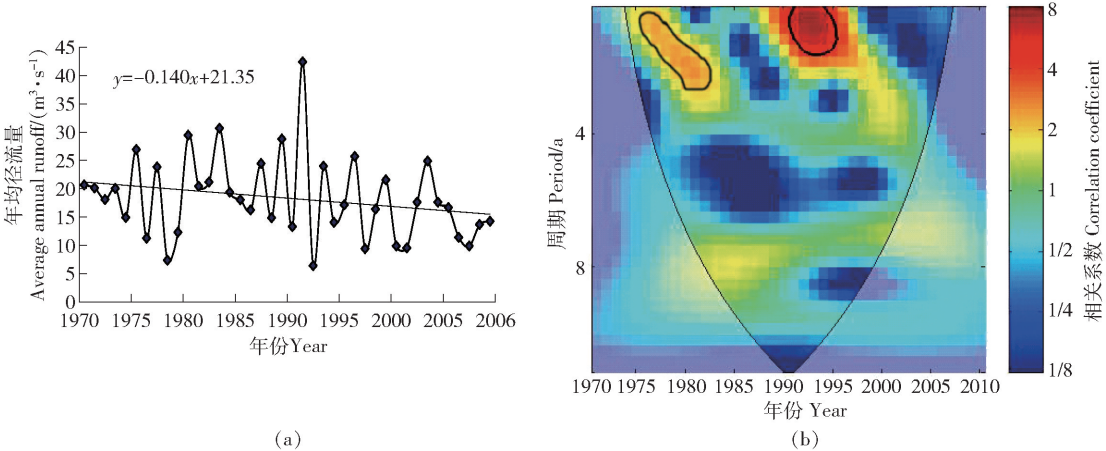


图 b 中粗线为 95% 置信度红噪声检验,细线为小波影响锥,箭头表示相位,下同。The thick line in Fig. b is the red noise test of 95% confidence degree, the thin line is the wavelet influence cone, and the arrow is the phase. The same below.

图 2 白莲崖流域年际径流量变化(a)及周期变化(b)

Fig. 2 Annual runoff change (a) of Bailianya basin and periodic variation (b)

对白莲崖年均径流量序列进行 MK 趋势检验(图 3(a)),1970—2009 年,年均径流量的变化均未通过置信水平为 0.05 的趋势检验,即变化趋势不显著。1970—1982 年,MK 统计量为负值,年均径流量呈不显著减少趋势;1983—1994 年,MK 统计量为正值,年均径流量呈不显著增加趋势;1995 年后,年均径流量呈不显著减少趋势。为进一步明确年均径流量的突变时期,笔者采用 Yamamoto 信噪比法对年均径流序列进行突变检验(图 3(b)),在给定 0.05

(统计量值为 1)的置信水平下,白莲崖流域在 1983 年和 2004—2005 年 2 个时期内径流量发生突变。根据霍山县志记载,该县农田水利基本建设投资在 50 年代末期至 1984 年,累计投资 1 366 万元。其中 60 年代末至 1978 年,建机、电排灌站 63 处,装机 79 台 2 937 kW,受益面积 25 km²。新建小水库 57 个,总库容 1 532 万 m³,灌溉面积 21.33 km²。1978—1983 年,新增机、电排灌站 11 处,装机 35 台 1 172 kW。这些农田水利、社会生产等人为活动改变了自

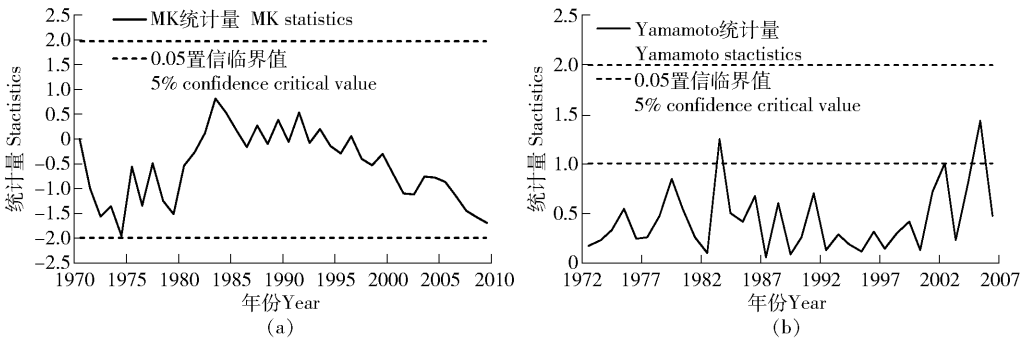


图 3 白莲崖流域 MK 检验和 Yamamoto 突变检验

Fig. 3 MK test and Yamamoto abrupt change test in Bailianya basin

然条件下的地表状况,对流域径流时空分布和演变规律产生了重要影响^[15]。1983 年的径流量突变期可视为天然径流量与被气候、人类活动等扰动径流量的分界线;2004—2005 年径流量的突变,则与我国自 1999 年以来实施的退耕还林工程密切相关。退耕还林工程实施后,白莲崖流域的林地面积增加,耕地减少,致使 90 年代末至 21 世纪初流域径流量的减少。

3.2 径流年代及年内分配特征

由表 1 可知,白莲崖流域年内径流量分布不均。径流量的不均匀系数高的时期,集中度也较高,二者

具有较好的同步性。就径流集中度而言,2000—2009 年径流集中度最小,而 90 年代径流集中度最大。除 90 年代小幅回升外,径流集中度和不均匀系数总体呈降低趋势,即径流量的分配向均衡化发展。就径流年内集中期而言,白莲崖流域径流集中期出现在 6、7 月。80 年代径流集中期出现在 6 月末,相对多年平均提前 19 d,其他时段径流集中期为 7 月底,与多年平均值基本一致。从径流年内变化幅度看,80 年代的变化幅度最低,仅为 74.1%,其次为 70 年代,84.6%,90 年代和 2000—2009 年均较高,整体而论,径流的年内变化幅度存在升高趋势。

表 1 白莲崖流域径流年内分配统计特征

Tab.1 Distribution statistic characteristics of Bailianya basin runoff within the year

时段 Period	不均匀系数 Uniformity coefficient/%	集中度 RCD/%	集中期(RCP)		变化幅度 Variation/%
			和向量方向	最大径流出现日期	
			Direction of sum vector/(°)	Maximum runoff date/(Month Day)	
1970—1979	65.0	45.8	221.7	7 月 27 日 July 27th	84.6
1980—1989	63.3	44.1	194.5	6 月 30 日 June 30th	74.1
1990—1999	66.7	46.1	221.4	7 月 26 日 July 26th	187.1
2000—2009	61.7	41.8	217.3	7 月 22 日 July 22nd	221.7
多年平均 Multi-annual average	64.2	44.5	213.7	7 月 19 日 July 19th	8.9

Notes: RCD stands for runoff concentration degree, and RCP stands for runoff concentration period.

3.3 径流与主要气象因素的多时间尺度关联性

1) 降水因素。降水是径流的直接补给源,其强度、持续时间及其时空分布对径流格局的形成具有决定性作用。白莲崖流域降水—径流的交叉小波分析揭示了在不同时频域内,降水与径流的内在联系。图 4 表明降水和径流的交叉小波功率谱能量主要集中在 1973—1984 年 1~3 年、1986—1996 年 1~2 年以及 1998—2002 年 2.5~4 年周期上,其中 1973—1984 年 1~3 年周期上的功率谱高能量区虽表现出径流—降水较强的关联性,但未通过红噪声检验,而后 2 个周期中,径流—降水表现出极强的关联性,通过了红噪声检验。2002—2007 年 6~7 年周期上存在通过红噪声检验的径流—降水高能量区,但因其位于小波影响锥外,是小波交叉分析自身的边缘效应所引致的干扰,因此不予考虑。1973—2004 年的 4~16 年周期上,径流—降水关联性较弱,表明白莲崖流域径流—降水高能量区在小于 4 年周期的尺度上的关联性显著。注意到,降水—径流在大多数高能量时频域中表现为同相位关系,表明降水是径流变化的直接影响因素,径流对降水响应较快,基本呈同步变化。降水对径流高频域上的作用对应地表径流对

降水的直接响应,而在低频域上的影响则是壤中流和地下径流滞后放大引起的。

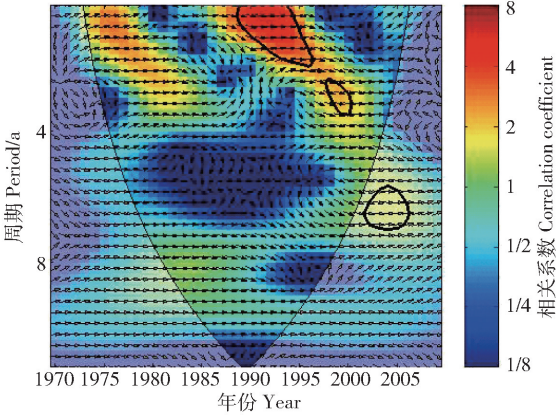


图 4 径流—降水小波功率谱

Fig.4 Wavelet power spectrum between runoff and precipitation

2) 气温因素。对白莲崖流域径流和气温序列进行交叉小波分析(图 5),其径流—气温的相互影响主要集中在 1988—2000 年 1~3.8 年周期上,在其他时频域中相互影响不显著。淮河流域 70、80 年代的年均气温基本为下降趋势,进入 90 年代后,气温开始上升,白莲崖流域径流对于这次气温的冷暖交

替现象响应较快。同时由该时期内的径流-气温位相关系可知,气温与径流存在反相位关系,气温优先径流 $3/4\pi \sim 5/4\pi$ 个周期,表明径流对于气温的响应具有时滞性,气温上升时,径流呈现减少的趋势。白莲崖流域径流-气温高能量区在小于 4 年周期的尺度上的关联性显著,这与前述径流-降水交叉小波功率谱的结果是一致的。纵览图 4 和图 5,气温对白莲崖流域径流的影响明显弱于降水;气温主要是通过与其他气象因子的综合作用来间接影响径流的。

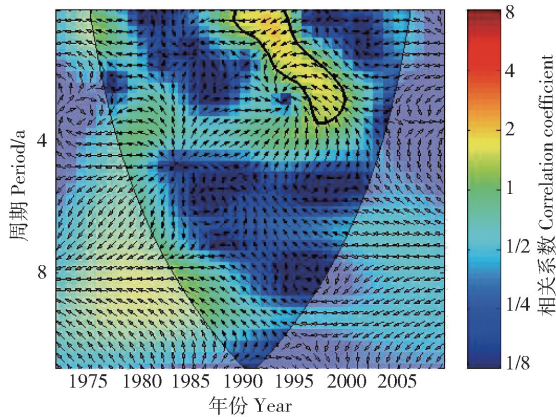


图 5 径流-气温小波功率谱

Fig. 5 Wavelet power spectrum between runoff and temperature

3.4 流域下垫面要素对径流的影响

下垫面要素的变化强烈地改变了流域地表的性

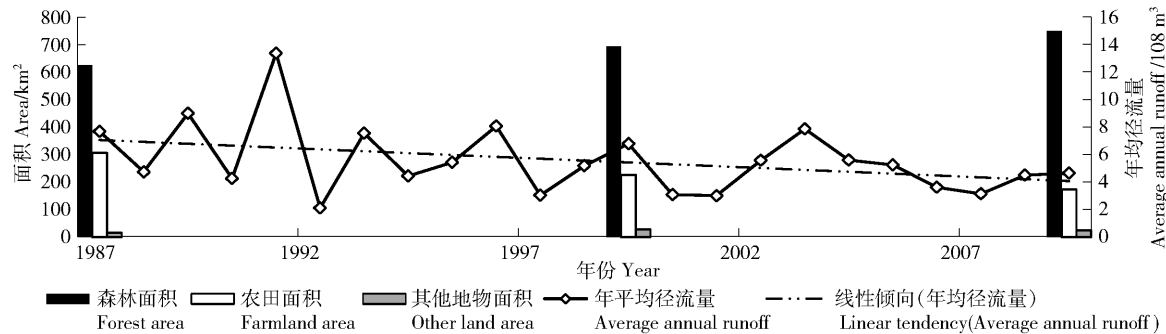


图 6 1987—2009 年土地利用-径流变化关系

Fig. 6 Relationship between runoff change and land use from 1987 to 2009

4 结论

随着气候变异和下垫面状况的变化,白莲崖径流年际年内都发生了显著变化,与不同气候因子表现出不同关联特性。

1) 1970—2009 年,流域径流存在 0.5 ~ 3 年的小周期变化现象;径流年内分配不均,主要集中在 6、7 月份。农田水利、工农业生产等人类活动强度

质,对不同时间和空间尺度的水文循环会产生一定的影响,引起流域产汇流条件的变化,进而改变了流域水文过程,是洪涝灾害频繁发生的重要原因之一。经 1987、1999 及 2009 年 3 期白莲崖流域的专题绘图仪(thematic mapper,简称 TM)影像解译可知,森林和农田总面积分别占流域总面积的 98.4%、97.2% 及 97.3%,水体面积变化不大。显然其他下垫面要素由于面积过于狭小,不会对径流的变化产生重要作用。

由图 6 线性倾向趋势线可知,22 年间径流量和农田面积呈减少趋势,森林面积呈增加趋势。1987—1999 年正值我国“七五”与“八五”计划时期,封山育林和封山护林行动得到迅速发展,森林得到有效保护与恢复。1999—2009 年,霍山县大力实施退耕还林项目建设,成为了皖西退耕还林的主要战场之一。森林 1987—1999 年期间由 627.59 km² 增加到 695.60 km²,到 2009 年增加到 751.86 km²;农田 1987—1999 年期间由 306.78 km² 减少到 226.08 km²,到 2009 年减少到 172.55 km²。森林通过枝叶的截留作用以及利用凋落物层和林木根系的涵蓄水源作用,可以减少产流,此外植被的蒸腾、下渗也可以减少河川径流量,延缓洪峰。与森林相比,农田在降雨截留和入渗方面能力较弱,耕地向森林的转化会导致径流相对减少。

的增加致使流域径流在 1983 年发生由减少到增加的第 1 次突变,90 年代末实施的退耕还林工程使径流在 2004—2005 年时段内发生由增加到减少的第 2 次突变,但径流总体呈减少趋势。

2) 降水和径流在 1986—1996 年 1 ~ 2 年以及 1998—2002 年 2.5 ~ 4 年周期上具有强关联性;降水-径流主要在高能时频域内呈现同相位关系,基本呈同步变化,表明径流对降水具有直接的响应关系,

白莲崖流域降水是径流变化的直接因素。径流和气温的相互影响主要集中在 1988—2000 年 1~3.8 年周期上,这与淮河流域 90 年代的气温冷暖交替有关。气温的相位优先于径流,表明径流对于气温的响应具有时滞性,气温间接影响径流,气温上升时,径流呈现减少的趋势。

3) 森林和农田是引起白莲崖流域径流变化的主要下垫面因素,对径流变化影响比较明显,随着森林面积的增加和农田面积的减少,径流呈减少趋势。

5 参考文献

- [1] 姚治君,管彦平,高迎春. 潮白河径流分布规律及人类活动对径流的影响分析[J]. 地理科学进展, 2003, 22(6): 599.
YAO Zhijun, GUAN Yanping, GAO Yingchun. Analysis of distribution regulation of annual runoff and affection to annual runoff by human activity in the Chaobaihe River [J]. Progress in Geography, 2003, 22(6): 599.
- [2] ZHOU Haiying, ZHANG Xiaolei, XU Hailiang, et al. Influences of climate change and human activities on Tarim River runoffs in China over the past half century[J]. Environ Earth Sci, 2012, 67(1): 231.
- [3] XIA J. Screening for climate change adaptation: water problem, impact and challenges in China [J]. Int J Hydropower Dams, 2010, 17(2): 78.
- [4] HAO X M, CHEN Y N, LI W H. Impact of anthropogenic activities on the hydrologic characters of the mainstream of the Tarim River in Xinjiang during the past 50 years [J]. Environ Geol, 2009, 57(2): 435.
- [5] 王兆礼,陈晓宏,杨涛. 近 50 年东江流域径流变化及影响因素分析[J]. 自然资源学报, 2010, 25(8): 1365.
WANG Zhaoli, CHEN Xiaohong, YANG Tao. Runoff of-variation and its impacting factors in the Dongjiang River Basin during 1956 - 2005 [J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(8): 1365.
- [6] 蒋晓辉,刘昌明,黄强. 黄河上中游天然径流多时间尺度变化及动因分析[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 142.
JIANG Xiaohui, LIU Changming, HUANG Qiang. Multiple time scales analysis and cause of runoff changes of the upper and middle reaches of the Yellow River[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 142.
- [7] 董林奎,陈建耀,付丛生,等. 西江流域径流与气象要素多时间尺度关联性研究[J]. 地理科学, 2013, 33(2): 209.
DONG Linyao, CHEN Jianyao, FU Congsheng, et al. Recognition on the relationship between runoff and regional meteorological factors of the Xijiang River in multi-time scales[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(2): 209.
- [8] 孙卫国,程炳岩,李荣. 黄河源区径流量与区域气候变化的多时间尺度相关[J]. 地理学报, 2009, 64(1): 117.
SUN Weiguo, CHENG Bingyan, LI Rong. Multitime Scale correlations between runoff and regional climate variations in the source region of the Yellow River[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(1): 117.
- [9] 叶芝茜,谢云,刘宝元. 日平均气温的两种计算方法比较[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2002, 38(3): 421.
YE Zhihan, XIE Yun, LIU Baoyuan. A comparison of mean daily temperature calculated by two methods [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Sciences), 2002, 38(3): 421.
- [10] 张涵丹,卫伟,薛莲. 基于 R/S 分析和 Mann-Kendall 检验的定西市气温降水变化特征[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 183.
ZHANG Handan, WEI Wei, XUE Sha. Analysis on the variation of temperature and precipitation in Dingxi based on R/S and Mann-Kendall test [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(6): 183.
- [11] 刘贤赵,李嘉竹,宿庆,等. 基于集中度与集中期的径流年内分配研究[J]. 地理科学, 2007, 27(6): 791.
LIU Xianzhao, LI Jiazhu, SU Qing, et al. Interannual runoff distribution based on degree and time of concentration for rivers [J]. Scientia Geographica Sinica, 2007, 27(6): 791.
- [12] GRINSTED A, MOORE J C, JEVREJEVA S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series [J]. Nonlinear Processes in Geophysics, 2004, (11): 561.
- [13] 于文善,胡亚魁. 建国以来淮河流域水患灾害及其治理[J]. 党史研究与教学, 2005(6): 58.
YU Wenshan, HU Yakui. Flood disaster and its management in Huaihe River basin since the founding of the People's Republic of China [J]. Party History Research and Teaching, 2005(6): 58.
- [14] 王振龙,陈玺,郝振纯,等. 淮河干流径流量长期变化趋势及周期分析[J]. 水文, 2011, 31(6): 79.
WANG Zhenlong, CHEN Xi, HAO Zhenchun, et al. Long-term changing trends and periodic analysis of runoff at Lutazi station on Huaihe River [J]. Journal of China Hydrology, 2011, 31(6): 79.
- [15] 莫非. 霍山县志[M]. 合肥: 黄山书社, 1993: 231.
MO Fei. Huoshan county annals [M]. Hefei: Mount Huang Press, 1993: 231.