

渭河径流对 LUCC和气候波动的响应研究

胡 宏昌¹,王根绪^{1,2},李 志³,陈腊娇⁴,李太兵¹,刘光生¹

(1 兰州大学 资源环境学院,甘肃 兰州 730000; 2 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所,四川 成都 610041;

3 中国科学院 水利部 水土保持研究所,陕西 杨凌 712100; 4 中国科学院 地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘 要: 40年来渭河流域降水量和产流量持续下降,20世纪 90年代与 80年代相比,年均降水量减少了 14.86%,年均径流深减少了 42.4%。基于分布式水文模型 SWAT的研究表明:气候波动对年均流量变化的贡献率约为 85%,LUCC对年均流量变化的贡献率约为 15%;非汛期流量的变化,气候波动的贡献率约为 70%,LUCC的贡献率约为 30%。

关 键 词: LUCC; 气候波动; SWAT; 流量; 渭河流域

中图分类号: TV121.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1379(2008)07-0025-02

LUCC(土地利用和土地覆盖)和气候波动对区域水文过程的影响,是目前国际水文科学最具活力的研究领域^[1]。LUCC和气候波动对区域生态、水文过程有着极其显著的影响,可引起土壤状况、地表产水量、土壤侵蚀量及生物多样性等许多自然和生态过程的变化^[2]。流域对比试验是验证土地利用变化和气候影响水文过程的一种有效方法,基于同样的气候类型下的土地利用变化对水文过程的影响反映在年径流量、洪水、基流和水质等方面,许多学者对此开展了大量的试验研究工作^[3-6],但资金和试验手段等限制了对比流域的面积。随着计算机和遥感技术的应用,基于物理概念的分布式水文模型得到了较大发展,人们开始使用水文模型去研究 LUCC和气候的水文响应^[7-11]。

黄土高原地区植被重建涵养水源的作用,一直令人关注且颇有争议。渭河流域是黄河的主要一级支流,近年来该流域水文过程的演变受到广泛关注^[5-6,11]。研究气候波动和 LUCC对渭河流域径流变化的贡献率,分析植被重建对涵养水源的作用,将为黄土高原的退耕还林和水土保持工作提供参考。

1 研究方法

1.1 研究区概况

选择渭河北道水文站以上区域为研究区域。研究区河长 360 km,面积 25 790 km²,主河道平均比降为 0.22‰,流域年均气温为 6~13℃,多年平均降水量 512.1 mm。

1.2 分布式水文模型与数据

(1) SWAT模型。SWAT(Soil and Water Assessment Tool)是一个长时段的流域分布式水文模型,它具有很强的物理基础,适用于具有不同的土壤类型、不同的土地利用方式和管理条件下的复杂大流域,并能在资料缺乏的地区建模,主要用于模拟预测不同土地利用及多种土地管理措施对水文、泥沙的长期影

响,其水文计算基于如下水量平衡方程^[12]:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - \omega_{seep} - Q_{gw})$$

式中: SW_t 和 SW_0 分别为第 t 天的初始和最终土壤含水量, mm; t 为时间, d; R_{day} 为第 t 天的降水量, mm; Q_{surf} 为第 t 天的地表径流, mm; E_a 为第 t 天的蒸发量, mm; ω_{seep} 为第 t 天土壤表面入渗到非饱和带的水量, mm; Q_{gw} 为第 t 天的地下水回归量, mm。

(2)数据来源。SWAT模型所需数据资料及来源见表 1,其中:气象数据采用研究区域及其临近区域的 21个站点 1960~2000年的数据,流量数据采用北道水文站 1960~2000年的资料;LUCC数据采用 1986年、2000年遥感 TM数据。

表 1 SWAT模型所需数据及来源

数 据	数据项目	精 度	格 式	来 源
空间数据	DEM	1:25万	GRID	国家自然科学基金委员会“中国西部环境与生态科学数据中心”
	LUCC	1:10万	GRID/shape	
	土壤类型	1:100万	GRID/shape	
属性数据	土壤属性		DBF	《甘肃省土种志》《甘肃省土壤志》及流域内各县市土壤志
	植被属性			
气象数据	降水、最高最低			中国气象局、甘肃省气象局
	气温、辐射、湿度、风速	日	DBF	
水文资料	流量	日、月、年		甘肃省水文局、黄河水利委员会

(3)模型的评价指标。模拟精度采用 Nash模型效率系数 E 和复相关系数 R^2 来评价^[13],其中模型效率系数计算公式为

$$E = 1 - \sum_i (Q_i - \hat{Q}_i)^2 / \sum_i (Q_i - \bar{Q}_e)^2$$

收稿日期: 2007-10-09

基金项目: 中国科学院“百人计划”项目;国家自然科学基金资助项目

(90511003); NSFC创新群体项目(40421101)。

作者简介: 胡宏昌(1981—),男,山东寿光人,研究方向为寒区旱区水文过程。

E-mail: huhch04@st.lzu.edu.cn

式中: Q_i 、 \hat{Q}_i 分别为实测流量和模拟流量; \bar{Q}_e 为实测流量平均值。

2 结果与讨论

2.1 降水与径流年际变化特征

40年来渭河流域降水量具有明显减少的趋势, 20世纪90年代年均降水量比80年代减少了14.8%。径流深的变化与降水量减少的趋势相一致, 但是减少趋势更为明显, 90年代与80年代相比, 年均径流深减少了42.4%, 径流系数减少了33.3%。20世纪90年代以来, 渭河入黄河水量比多年平均值减少了38%。

2.2 流域土地覆盖变化

基于1986年和2000年渭河流域土地生态类型分布图, 通过ARC/INFO、ARCVIEW等软件, 采用景观生态学方法分析表明^[14]: 渭河流域中覆盖草地和低覆盖草地面积分别增加了261 12.58 78 km², 旱地面积减少了452 44 km², 裸土面积增加了18 19 km², 城镇用地和农村居民用地分别增加了7.79、106.50 km²。

2.3 模拟结果

以1961~1970年为模型率定期, 以1971~1980年为模型验证期。率定期月均流量的模型效率系数和复相关系数分别为0.88、0.89, 验证期月均流量模型效率系数和复相关系数分别为0.83、0.84。率定期年均流量的模型效率系数和复相关系数分别为0.84、0.85, 验证期年均流量的模型效率系数和复相关系数分别为0.84、0.88。

根据LUCC和相应参数, 对1981~1990年月均流量进行模拟的模型效率系数为0.79, 对1991~2000年月均流量进行模拟的模型效率系数为0.83, 表明模型具有良好的适应性。

基于1981~1990年的气象资料, 分别用20世纪80年代和90年代的LUCC进行模拟, 结果表明: 90年代与80年代相比, 月均流量平均减少了7.2%, 非汛期月均流量减少更为显著(减少了17.32%)。

基于1991~2000年的气象资料, 分别用20世纪80年代和90年代的LUCC进行模拟, 结果为: 90年代与80年代相比, 月均流量平均减少了5.6%, 非汛期月均流量平均减少了16.66%, 表明2000年的LUCC削减了产流量特别是非汛期的产流量。

基于1986年的LUCC和1981~1990年的气象资料, 利用1991~2000年的气象资料进行对比研究, 90年代与80年代相比年均流量减少了42.89%, 非汛期流量减少了51.71%, 汛期流量减少了40.87%。基于2000年的LUCC和1991~2000年的气象资料, 利用1981~1990年的气象资料进行对比研究, 90年代与80年代相比年均流量减少了34.79%, 非汛期流量减少了29.92%, 汛期流量减少了32.98%。

分析80年代和90年代的模拟结果表明: 渭河流域年均流量的变化, 气候波动的影响约为85%, LUCC的影响约为15%; 非汛期月均流量的变化, 气候波动的影响约为70%, LUCC的影响约为30%。气候变化和LUCC对非汛期流量的影响较大, 这与非汛期径流深变化相一致。

3 结 论

40年来渭河流域降水量和产流量持续下降, 20世纪90年代年均降水量比80年代减少了14.86%, 年均径流量减少更为明显, 年均径流深减少了42.4%。基于分布式水文模型SWAT的研究表明: 气候波动对年均流量变化的贡献率约为85%, LUCC对年均流量变化的贡献率约为15%; 非汛期流量的变化, 气候波动的影响约为70%, LUCC的影响约为30%。90年代LUCC的改变减少了进入河流的水量, 增强了土壤的蓄水能力, 起到了涵养水源的作用, 进而有效地控制了水土流失^[15]。

本研究仅分析了土地利用变化和气候波动对径流量变化的影响和贡献率, 而各气象因子(温度、降雨等)和各种土地利用类型的变化对水文过程变化分别的贡献率需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-558
- [2] 邓慧平. 气候与土地利用变化对水文水资源的影响研究[J]. 地球科学进展, 2001, 16(3): 436-441
- [3] Ning SUN, Xubin LI. A Summary of the effects of afforestation and deforestation on annual water yields[C]// IEEE 25th Anniversary IGARSS 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2005: 2266-2269
- [4] A R H Ibbett. Forest Treatment Effects on Water Yield[C]// W E Sopper H W Lull S V m p. Forest Hydrology Pennsylvania. New York: Pergamon Press INC, 1967: 527-543
- [5] 黄明斌, 康绍忠, 李玉山. 黄土高原沟壑区森林和草地小流域水文行为的比较研究[J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 226-231
- [6] 黄明斌, 刘贤赵. 黄土高原森林植被对流域径流的调节作用[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1057-1060
- [7] Mariano Hernandez, Scott N Miller, David C Goodrich, et al. Modeling runoff response to land cover and rainfall spatial variability in semi-arid watersheds[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2000(64): 285-298
- [8] N Fohrer, S Havekamp, H G Frede. Assessment of the effects of land use patterns on hydrologic landscape functions: development of sustainable land use concepts for low mountain range areas[J]. Hydrological processes, 2005(19): 659-672
- [9] 陈军锋, 陈秀万. SWAT模型的水量平衡及其在梭磨河流域的应用[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2004, 40(2): 265-270
- [10] 陈军锋, 李秀彬, 张明. 模型模拟梭磨河流域气候波动和土地覆被变化对流域水文的影响[J]. 中国科学: D辑, 2004, 34(7): 668-674
- [11] 刘昌明, 李道峰, 田英, 等. 基于DEM的分布式水文模型在大尺度流域应用研究[J]. 地理科学进展, 2003, 22(5): 437-445
- [12] S L Neitsch, J G Arnold, J R Kiniry, et al. Soil and Water Assessment Tool User's Manual[M]. Texas: Grassland Soil Water Research Laboratory, 2002
- [13] Mark S Johnson, William F Coonh, Vishal K Mehta, et al. Mechanisms to a hillslope dominated watershed in the northeastern US: a comparison of HSPF and SMR[J]. Journal of hydrology, 2003(284): 57-76
- [14] 王根绪, 丁永建, 王建, 等. 近15年来长江黄河源区的土地覆被变化[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 163-173
- [15] 黄奕龙, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 黄土丘陵流域生态用水试验研究——气候和土地利用变化的影响[J]. 水科学进展, 2006, 17(1): 14-19

【责任编辑 张智民】