

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.05.013

基于空间信息平台的土地利用方式变化径流响应模拟

蔡 涛^{1 2} ,李琼芳^{1 2} ,宋秀民³ ,李 鹏⁴ ,虞美秀^{1 2} ,谢 伟^{1 2} ,白 雪^{1 2}

(1.河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 ,江苏 南京 210098 ;
2.河海大学水文水资源学院 ,江苏 南京 210098 3.山东省济宁市水利局 ,山东 济宁 250000 ;
4.河南信阳水文水资源勘测局 ,河南 信阳 464000)

摘要 :以淮河上游息县水文站以上为研究区域 ,基于研究区域 3 期(20 世纪 80 年代、20 世纪 90 年代、2000 年以后)土地利用图模拟分析土地利用变化对流域产水的影响 .利用流域附近 8 个气象站 1980 ~ 2005 年的资料 ,内插得到流域内的气象资料 ,应用 P-M 法耦合植物生长模型(EPIC)计算流域潜在蒸散发 ,利用息县以上集水区域 1980 ~ 2005 年 63 个雨量站资料及尺度为 1:200000 土壤类型图 ,选用 SWAT 模型模拟流域的径流过程 ,并分析了产水特性参数时空变化 .结果表明 :降雨量的大小弱化了流域下垫面条件对产水的影响 ,在降雨和土壤质地相同的情况下 ,产水能力旱地大于水田大于草地大于林地 ,旱地增加后流域产水量也会增加 ,林地不易于流域的产流 .

关键词 :淮河上游 ;土地利用方式变化 ;径流模拟 ;SWAT 模型

中图分类号 :P331 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2009)05-0563-05

土地利用方式变化必然引起水分循环的变化 ,导致水资源在时空上的重新分配和陆面污染物质输移规律的改变 ,进而影响河流生态系统健康 ,对人类社会的生存和发展产生了影响 ,土地利用方式变化已是当今全球环境变化的主导因子之一 .因此 ,预测土地利用方式变化可能产生的各种后果 ,并制定相应的对策 ,已成为世界各国的重要课题 .土地利用方式变化研究自 20 世纪 90 年代开展以来 ,已成为“ 国际地圈与生物圈计划(IGBP)和“ 全球环境变化人文计划(IHDP)的核心研究领域 ,受到世界各国和国际组织的广泛关注 ,是目前全球变化研究的热点问题之一^[1] .

水文模型模拟方法以及试验流域观测统计分析是当前研究土地利用方式变化对水文水资源影响评价的主要的 2 种方法^[2-4] .本文选用 SWAT 模型^[5-8]模拟淮河上游日产水过程 ,通过定量分析土地利用方式变化对流域产水的影响 ,从而为淮河上游保障流域水资源的可持续开发利用和经济社会的可持续发展等提供重要参考价值 .

1 研究方法和资料的选用

1.1 研究区域概况

本文选择淮河上游息县水文站以上流域作为研究区域 ,流域范围为东经 113°15′ ~ 114°46′ ,北纬 31°31′ ~ 32°43′ ,面积为 10 190 km² .流域地处我国湿润气候与半干旱气候过渡带 ,淮南属长江流域气候 ,一般温暖多雨 ,淮北属黄河流域型气候 ,寒冷少雨 ,流域多年年平均降水量 800 ~ 1 400 mm ,多年平均径流深约为 371 mm ,多年平均水面蒸发量为 800 ~ 1 000 mm .近年来 ,由于上游区域内人口密度增大 ,造成了对资源需求的膨胀 ,研究区域内土地利用方式发生改变 ,土地利用方式变化必然引起淮河上游水循环的变化 ,导致淮河上游水资源在时空上的重新分配和陆面污染物质输移规律的改变 ,进而影响河流生态系统健康 .

1.2 研究方法

为分析土地利用方式变化对流域产水的影响 ,收集了 3 期 20 世纪 80 年代、20 世纪 90 年代、2000 年以后全国 1 km × 1 km 土地利用图 ,运用 Arcview GIS 软件截得研究区域的 3 期土地利用方式图(图 1) ,为对应不同

收稿日期 :2009-04-08
基金项目 :水利部公益性项目专项经费项目(200701031) ;教育部长江学者和创新团队发展计划(IRT0717) ;高等学校学科创新引智计划(B08048) ;教育部留学回国人员科研启动基金(B06041)
作者简介 :蔡涛(1982—) ,男 ,江西南昌人 ,硕士研究生 ,主要从事水文水资源研究 .

时期土地利用图,将研究时段 1980~2005 年划分成 1980~1989 年、1990~1999 年、2000~2005 年 3 个时段。利用流域空间分辨率为 30"×30"DEM 资料,运用 Arcview GIS 软件构建流域数字水系,通过设定流域集水面积阈值,将整个流域划分成 87 个子流域,通过加载研究区域尺度为 1:200 000 土壤类型图及土地利用图,将整个流域划分成 276 个水文响应单元(每个水文响应单元上为单一的土地利用方式和土壤类型)。SWAT 模型产流模拟采用 SCS 模型计算每个水文响应单元上的产水^[9-10]。利用流域附近 8 个气象站 1980~2005 年资料内插得到流域内气象资料,运用 P-M 法^[11]耦合植物生长模型(EPIC)^[12]计算流域潜在蒸散发,利用流域息县以上集水区域 1980~2005 年 63 个雨量站资料,运用 SWAT 模型模拟流域 3 个时段内的产水过程,选用息县水文站 1980~2005 年日流量资料进行了产水模拟参数的率定和验证,其中 1980~1986 年、1990~1996 年、2000~2003 年作为模型参数率定期,1986~1989 年、1996~1999 年、2004~2005 年作为模型参数验证期。基于日流量模拟成果,计算流域内每个子流域上产水特性参数。为对比分析不同时期土地利用对流域产水的影响,本文按降水量大小相近原则分别选取 3 个时段内的代表年份 1984 年、1996 年、2003 年(3 个代表年份的降雨量分别为 1 154.58 mm、1 174.53 mm 和 1 132.25 mm)来呈现流域产流特性空间分布结果。

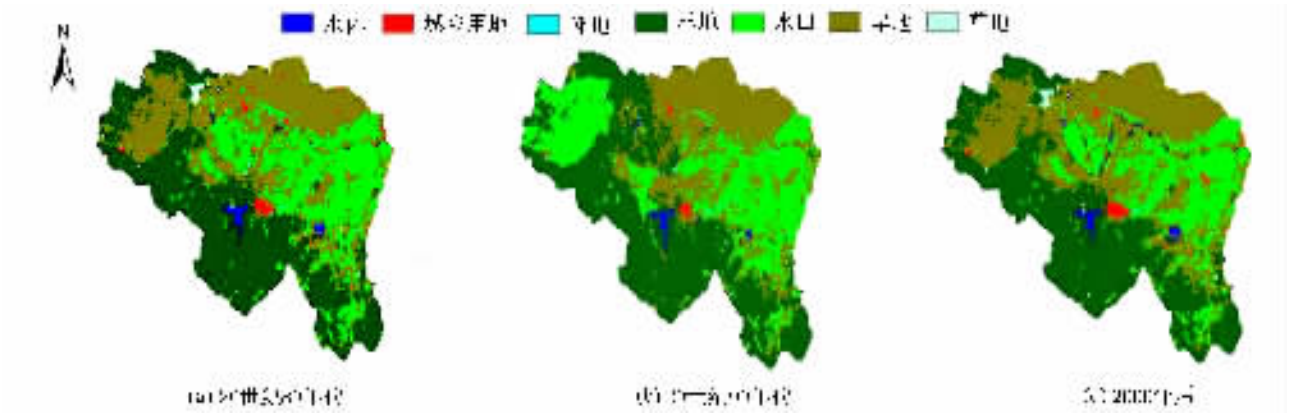


图 1 研究区域 3 期土地利用方式

Fig. 1 Land use maps of study region for three different periods

2 流域产流空间分布模拟结果

2.1 日流量过程的模拟

基于 3 期土地利用数据模拟淮河息县站以上流域 1980~2005 年日流量过程,选用息县水文站 1980~2005 年实测日流量资料对 SCS 模型进行参数率定和验证,其中参数率定期(1980~1986 年、1990~1996 年、2000~2003 年)和参数验证期(1986~1989 年、1996~1999 年、2004~2005 年)模拟的年径流深相对误差均在 10% 以内,Nash-Suttcliffe 系数 E_{ns} 均达到 0.7 以上,满足模型模拟的精度要求。

2.2 流域产水特性空间分布

基于 3 个代表年份(1984 年、1996 年、2003 年)日流量模拟结果计算研究区内各子流域的年径流深、径流系数、径流模数,并绘制流域产水特性空间分布图(图 2~4)。

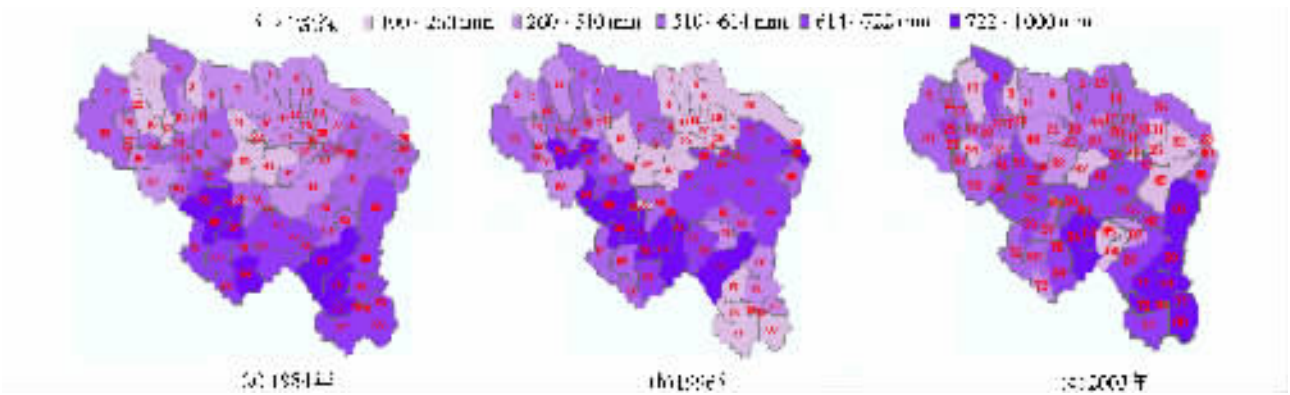


图 2 1984 年、1996 年和 2003 年年径流深空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of annual runoff depth in 1984, 1996 and 2003

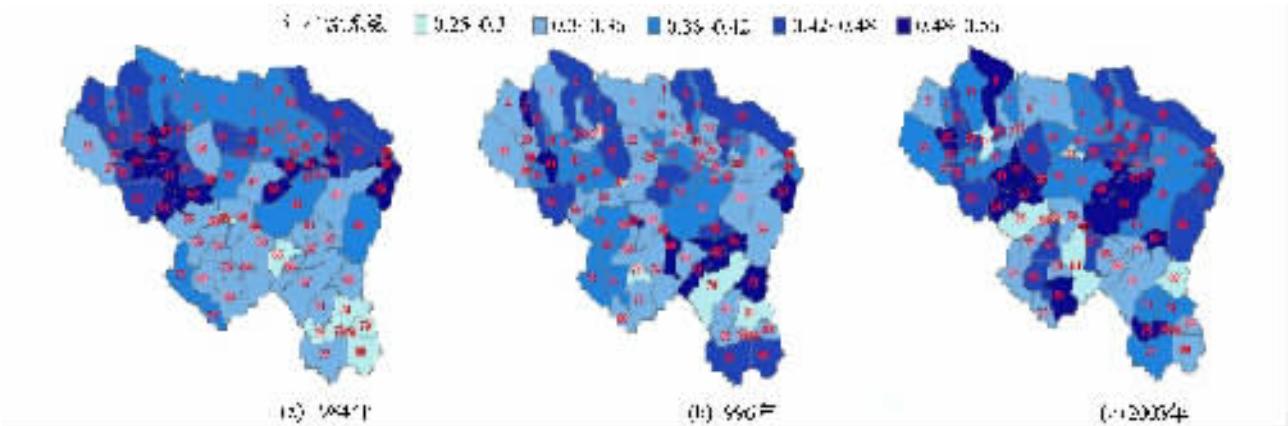


图 3 1984 年、1996 年和 2003 年年径流系数空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of annual runoff coefficient in 1984 , 1996 and 2003

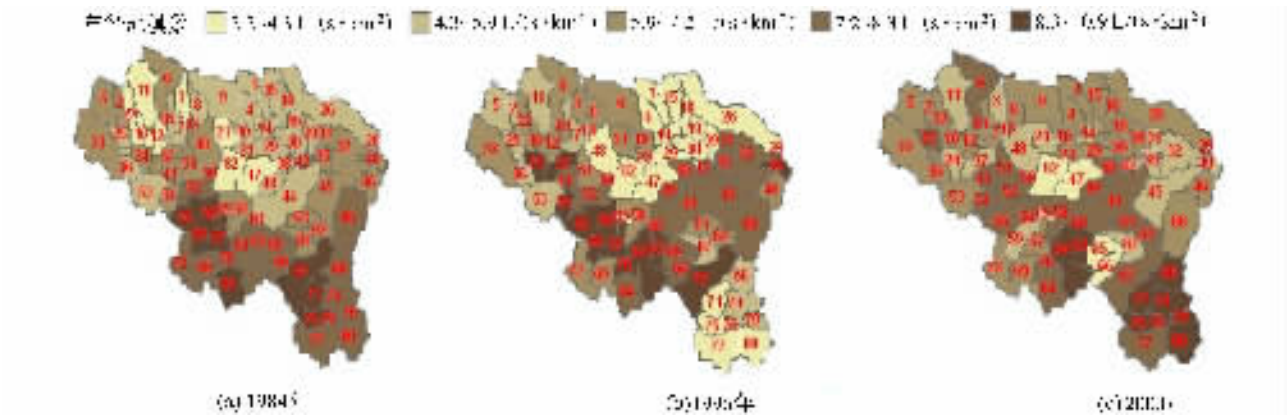


图 4 1984 年、1996 年和 2003 年年径流模数空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of annual runoff modulus in 1984 , 1996 and 2003

3 成果分析

图 2 为 3 个代表年份年径流深空间分布(图中数字均为子流域编号),可以看出流域年径流深为 700 ~ 1 000 mm 的区域主要集中在研究区域的南部,而年径流深在 100 ~ 260 mm 的区域主要集中在流域的北部.流域年径流深总体上呈南大北小的空间分布,这主要是受流域降水空间分布不均的影响,淮河上游位于我国湿润气候与半干旱气候过渡带,流域降雨量空间分布为南大北小,降水量大的子流域,其径流深也相对较大.为分析土地利用方式变化对流域产水的影响,统计了 20 世纪 80 年代、20 世纪 90 年代和 2000 年以后土地利用组成(表 1).从表 1 可以看出:20 世纪 80 年代流域土地利用方式主要以旱地为主,旱地占总面积的 41.85%,林地其次,占总面积的 38.55%,到了 20 世纪 90 年代,流域主要的土地利

表 1 3 期土地利用组成

Table 1 Land use composition for three different periods

土地利用类型	土地利用组成/%		
	20 世纪 80 年代	20 世纪 90 年代	2000 年以后
水体	0.9	0.78	1.32
城乡用地	0.63	0.51	0.88
林地	38.55	40.69	38.06
水田	17.02	27.23	17.15
旱地	41.85	30.38	41.81
草地	0.57	0.06	0.54
滩地	0.40	0.34	0.22

用方式以林地为主,占总面积的 40.69%,其次为旱地,占总面积的 30.38%;2000 年后,流域主要的土地利用方式又以旱地为主,占总面积的 41.81%,林地面积相应减少,占总面积的 38.06%.由图 2(a)(b)可以看出:1984 年流域年径流深在 100 ~ 260 mm 的子流域较少,而到了 1996 年年径流深在 100 ~ 260 mm 的子流域明显增多;从 20 世纪 80 年代到 20 世纪 90 年代,旱地面积减少,林地面积增加,在子流域流域降水变化不大的情况下,流域林地面积的增加使得流域某些区域的年径流深相应减少.由图 2(b)(c)可以看出,2003 年的年径流深在 100 ~ 260 mm 的子流域相对于 1996 年有所减少,从 20 世纪 90 年代到 2000 年后,林地面积减少,旱地面积增加,说明在子流域降水变化不大情况下流域旱地面积的增加,造成流域某些子流域年径流深相应增

加.图3给出了3个代表年份年径流系数空间分布.从图3可以看出,流域年径流系数在0.46~0.58的区域主要分布在研究区域南部地区,而年径流系数在0.25~0.30的区域主要分布在北部地区,流域产水能力南小北大.相比于1996年,1984年流域年径流系数在0.42~0.56的区域增多,说明从20世纪80年代到20世纪90年代林地的增加造成了流域某些区域产流系数的减小.相比于1996年,2003年流域年径流系数在0.42~0.56的区域增多,说明2000年后旱地面积的增加,使得流域某些区域的产流系数增加.图4给出了3个代表年份的径流模数空间分布.从图4可以看出,3个代表年份年径流模数空间分布基本和年径流深空间分布一致,子流域径流深较大的地方,其年径流模数也较大.

为定量分析土地利用方式变化对流域产水特性的影响,选取3个代表年份内年降雨量相差不大、土壤类型相同,但是土地利用方式发生改变的水文响应单元,分别计算各水文响应单元上产流系数和产流模数(表2).从表2可以看出,第1个水文响应单元,在20世纪80年代其土地利用方式为旱地,20世纪90年代变为林地,2000年后又变为旱地,流域年径流深从1984年的204.5 mm减少到1996年的175.9 mm,2000年后又增加到215.41 mm.年径流系数和年径流模数也同样呈现这样一个趋势,1984年年径流系数和年径流模数分别为0.35和3.37 L/(s·km²),1996年减少到0.27和2.69 L/(s·km²),2003年又增加到0.36和3.61 L/(s·km²),表明在降雨和土壤类型相同的情况下,旱地的产水能力大于林地.在第2个水文响应单元中,20世纪80年代土地利用方式为林地,20世纪90年代变为旱地,2000年后变为水田,流域年径流深从1984年的118.53 mm增加到1996年的147.58 mm,2003年后减少到135.69 mm,年径流系数和年径流模数从1984年的0.20 L/(s·km²)和2.57增加到1996年的0.25和2.71 L/(s·km²),2000后减少到0.23和2.61 L/(s·km²),表明在其他条件相同的情况下,旱地的产水能力大于水田,而水田的产水能力又大于林地.在第3个水文响应单元中,20世纪80年代土地利用方式为草地,20世纪90年代变为林地,2000年后变为水田,其年径流深也发生相应的变化,从1984年333.43 mm减少到1996年的317.26 mm,2003年年径流深增加到369.55 mm,年径流系数和年径流模数从1984年的0.34和3.86 L/(s·km²)减少到1996年0.32和3.67 L/(s·km²),说明草地的产水能力大于林地的产水能力.年径流深从1984年的333.43 mm增加到2003年的369.55 mm,年径流系数和年径流模数从1984年的0.34和3.86 L/(s·km²)增加到2003年的0.37和4.28 L/(s·km²),说明水田的产水能力大于草地.

表2 水文响应单元产水特性参数

Table 2 Characteristic parameters of runoff of hydrological response units

编号	土地利用类型			径流深/mm			径流系数			径流模数/(L·s ⁻¹ ·km ⁻²)		
	20世纪80年代	20世纪90年代	2000年后	1984年	1996年	2003年	1984年	1996年	2003年	1984年	1996年	2003年
1	旱地	林地	旱地	204.50	175.90	215.42	0.35	0.27	0.36	3.37	2.69	3.61
2	林地	旱地	水田	118.53	147.58	135.69	0.20	0.25	0.23	2.57	2.71	2.61
3	草地	林地	水田	333.43	317.26	369.55	0.34	0.32	0.37	3.86	3.67	4.28

4 结 论

淮河上游径流深的空间分布主要受降雨空间分布的影响,降雨量大的区域,产流量相对也较大,降雨量的大小弱化了下垫面条件对流域产水的影响.在降雨和土壤质地相同的情况下,不同土地利用方式对流域产水影响不同.就产水能力而言,旱地产水能力大于水田大于草地大于林地,林地的增加不易于流域的产流,增加流域的旱地面积可增加流域产水量.

参考文献:

[1] 戴枫勇. SWAT在环太湖丘陵地区的非点源污染研究中的运用[D]. 南京: 河海大学, 2007.

[2] 郝芳华, 陈利群, 刘昌明, 等. 土地利用方式变化对产流和产沙的影响分析[J]. 水土保持学报, 2006, 18(3): 5-8. (HAO Fang-hua, CHEN Li-qun, LIU Chang-ming, et al. Impact of land use change on runoff and sediment yield[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 18(3): 5-8. (in Chinese))

[3] 任立良. 流域数字水文模型研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2000, 28(4): 1-7. (REN Li-liang. A study on digital hydrological modeling[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2000, 28(4): 1-7. (in Chinese))

[4] 刘昌明, 夏军, 郭生练, 等. 黄河流域分布式水文模型初步研究与进展[J]. 水科学进展, 2004, 15(4): 495-500. (LIU Chang-

- ming ,XIA Jun ,GUO Sheng-lian ,et al. Advances in distributed hydrological modeling in the Yellow River basin[J]. Advances in Water Science 2004 ,15(4) :495-500.(in Chinese))
- [5] 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. (CHEN Jun-feng ,CHEN Xiu-wan. Water balance of the SWAT model and its application in the Suomo River Basin[J]. Journal of Universitatis Pekinensis : Natural Sciences 2004 40(2) :265-270.(in Chinese))
- [6] 欧春平 ,夏军 ,王中根 ,等 .土地利用/覆被变化对 SWAT 模型水循环模拟结果的影响研究 :以海河流域为例[J]. 水力发电学报 ,2009 ,28(4) :124-129.(OU Chun-ping ,XIA Jun ,WANG Zhong-gen ,et al. LUCC influence on SWAT hydrological simulation :a case study of Haihe River basin[J]. Journal of Hydroelectric Engineering 2009 28(4) :124-129.(in Chinese))
- [7] 宋艳华 ,马金辉 . SWAT 模型辅助下的生态恢复水文响应 :以陇西黄土高原华家岭南河流域为例[J]. 生态学报 ,2008 ,28(2) :636-644.(SONG Yan-hua ,MA Jin-hui. SWAT-aided research on hydrological responses to ecological restoration :a case study of the Nanhe River basin in Huajialing of Longx Loess Plateau[J]. Journal of Acta Ecologica Sinica 2008 28(2) :636-644.(in Chinese))
- [8] 王中根 ,刘昌明 ,黄友波 .SWAT 模型的原理、结构及应用研究[J]. 地理科学进展 ,2003 ,22(1) :79-86.(WANG Zhong-gen ,LIU Chang-ming ,HUANG You-bo. The theory of SWAT model and its application[J]. Journal of Progressing Geography 2003 22(1) :79-86. (in Chinese))
- [9] ARNOD J G ,WILLIAMS J R ,AIDMENT D R M. Continuous-time water and sediment-routing model for large basins[J]. Journal of Hydraulic Engineering ,1995 ,121(2) :171-183.
- [10] NEITSCH S L ,ARNOLD J G ,KINIRY J R ,et al. Soil and water assessment tool theoretical documentation ,Version2000[EB/OL].[2001 -06-30]. <http://www.brc.tamus.edu/swat/>.
- [11] PENMAN H L. Evaporation :an introductry survey ,Netherlands[J]. Journal of Agricultural Science ,1956(4) :287-291.
- [12] 吴锦 ,余福水 ,陈仲新 ,等 .基于 EPIC 模型的冬小麦生长模拟参数全局敏感性分析[J]. 农业工程学报 ,2009 ,25(7) :136-142.(WU Jin ,YU Fu-shui ,CHEN Zhong-xin ,et al. Global sensitivity analysis of growth simulation parameters of winterwheat based on EPIC model[J]. Journal of Transactions of the CSAE 2009 25(7) :136-142.(in Chinese))

Influence of land use change on runoff response simulation based on spatial information platform

CAI Tao^{1,2} , LI Qiong-fang^{1,2} , SONG Xiu-min³ , LI Peng⁴ , YU Mei-xiu^{1,2} , XIE Wei^{1,2} , BAI Xue^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;

2. College of Hydrology and Water Resources , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;

3. Water Conservancy Bureau , Jining 250000 , China ;

4. Xinyang Hydrology-Water Resources Investigation Authority , Xinyang 464000 , China)

Abstract : Based on the land use maps of the study region during 3 different periods(the 1980s , the 1990s and the 2000s) , the influence of land use change on the runoff generation in the upper reaches of Huaihe River basin(upstream of Xixian hydrological station) was simulated and analyzed. By use of the observed meteorological data from 8 stations during 1980-2005 , the interpolation methods were used to obtain the meteorological data for the basin. The potential evapotranspiration of the basin was calculated by the Penman-Monteith method coupled with the plants developing model. By adopting the precipitation data from 63 rain gauge stations in the catchment upstream Xixian station during 1980-2005 and the soil type maps with the scale of 1 : 200000 , the runoff generation of the basin was simulated by the SWAT model , and the spatio-temporal variation of the runoff generating parameters was analyzed. The results reveal that the magnitude of the precipitation weakens the influence of the underlying conditions on the runoff generation ; under the same precipitation data and soil types , the runoff generating capacity is as follows : farmland > paddy field > grassland > woodland , the increase of the farmland area will result in the quantity of runoff generation , and the woodland is not in favor of the runoff generation to some extent.

Key words : upper reaches of Huaihe River , land use change , runoff simulation , SWAT model