

文章编号: 1004-8227(2009)05-0446-07

# 赣江源头流域植被变化的水文响应模拟研究

刘志勇<sup>1</sup>, 赖格英<sup>2</sup>, 潘少明<sup>1</sup>

(1. 南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210093;

2. 江西师范大学鄱阳湖生态环境与资源研究教育部重点实验室, 江西 南昌 330022)

**摘要:** 应用 2 个分布式水文模型(SWAT 和 Topmodel 模型), 对赣江流域的源头——梅江流域 20 年内的植被变化所造成的生态水文响应做出了模拟研究。根据 2 个模型不同的特点, 设计了不同的模拟方案, 使用 SWAT 模型模拟径流量的变化, Topmodel 模型模拟汇流过程的变化。模拟得到的结果是: 排除研究时间段内流域气候变化的影响, 仅变换流域下垫面的属性, 植被的变化对流域水文特征产生了明显影响, 在整个梅江流域的范围内, 2000 年的年径流总量比 1987 年增加了 14.6%; 在其子流域——琴江流域, 1995~2000 年的 7 次洪峰峰值径流出现时间比 1987 年延迟, 峰值径流量减少约 5%。这说明从上世纪 80 年代开始在该流域内进行的植树造林和国土整治工作, 即江西省“山江湖工程”, 对流域的生态健康具有良好的回馈效应。

**关键词:** 分布式水文模型; 植被变化; 水文模拟; 梅江流域

**文献标识码:** A

流域源头是整个流域中的一个重要生态功能区, 目前我国流域源头面临的主要问题是自然生态环境的持续退化和人类活动的不断压迫, 导致区域内森林草场退化, 土地沙化, 土壤和植被涵养水源能力降低; 水土侵蚀严重, 流失的大量泥沙淤塞下游河道、水库、湖泊; 污染, 包括工业污染和农业非点源污染加剧, 这不仅对源头区域的可持续发展构成严重威胁, 更危急下游乃至整个流域的生态环境健康和经济社会生态的可持续性<sup>[1-5]</sup>。梅江流域地处中国南方典型的红壤侵蚀丘陵地区, 上世纪 80 年代区内水土流失严重, 期间进行了大规模的国土整治, 生态状况有所好转。虽然国内已经对森林水文生态效应的集水区按不同的气候带进行了比较全面的总结<sup>[6]</sup>, 但森林变化的水文效应有强烈的地域特点, 不同的水文研究区、不同的水文响应尺度得到的结果差别较大<sup>[7]</sup>。本文将梅江流域作为研究实验区, 探讨在人类活动影响下造成的植被变化对该流域水文特征的影响。

当前遥感与地理信息系统技术越来越多的应用到研究流域下垫面物理性质的改变导致的水文效应, 探讨各变量之间的相互联系以及导致这些变化的自然和人类因素的分量。这类研究通常首先应用

遥感技术对流域的自然地理要素进行数据提取, 再结合地理信息软件建立区域自然环境的空间数据库, 最后使用一些专门软件, 如水文软件、生态模拟软件和景观分析软件, 对区域的生态环境要素进行定量模拟分析, 其对象包括流域的水文和气候变化, 土地覆被变化和植被覆盖度、覆盖类型的变化等, 对比各个年代之间的变化, 分析变化趋势, 寻求促使变化的主导因素<sup>[8-13]</sup>。森林水文学中研究植被变化的水文响应常用“相似流域对比”和“单一流域长时段观测比较”2 种方法, 而作为一种新型水文研究和流域管理工具, 分布式水文模型对中小型流域的水文模拟在中国也越来越被接受和使用<sup>[13]</sup>。分布式水文模型体现了流域的空间异质性, 能够反映气候和下垫面的空间分布对流域降雨径流形成的影响, 揭示气候变化及人类活动改变下垫面对水循环的复杂影响<sup>[14]</sup>, 并且模型的参数可灵活的设定<sup>[8,9]</sup>, 为设定不同的下垫面或气象情景进行模拟研究提供了条件。

植被是连接土壤、大气和水分等要素的自然“纽带”, 植被的动态变化在某种程度上代表着土地覆盖的动态变化。本文研究的主要目的是, 根据 SWAT 和 Topmodel 模型的不同特性, 使用土地利用/覆盖和植被叶面积指数的变化来体现流域植被的变化、变

收稿日期: 2008-04-24; 修回日期: 2008-05-18

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(2002CB412401); 南京大学研究生科研创新基金

作者简介: 刘志勇(1981~), 男, 湖北省枣阳人, 博士研究生, 主要从事河流与海洋交互作用研究. E-mail: yongjxu@163.com

换模型的主要参数、设计不同的模拟方案来模拟流域植被状态的改变导致的流域水文特征的改变, SWAT 模型用来模拟流域植被变化导致的年径流总量的变化, Topmodel 模型用来模拟植被状态的改变导致的流域降水汇流过程的变化。

## 1 研究区概况

梅江, 发源于于都北缘的王陂障, 过梅江镇后纳琴江等支流, 至于都龙舌咀入贡水, 集水面积 7 099

km<sup>2</sup>, 属赣江流域的上支。流域属于赣南侵蚀中低山与丘陵, 中亚热带季风气候区, 平均降水量为 1 432~ 1 604 mm, 4~ 6 月降水最集中, 3 个月降水总量各地在 700~ 900 mm, 大部分地区占年降水总量的 45%~ 50%。土壤以红壤、紫色土为主。地带性植被为中亚热带常绿阔叶林。流域内的主要水文站有汾坑 (25. 13° N, 115. 66° E), 石城 (26. 36° N, 116. 36° E), 窑邦 (26. 26° N, 115. 78° E)。图 1 为梅江流域在江西省的位置及流域内的气象站、水文站和雨量站的空间分布。

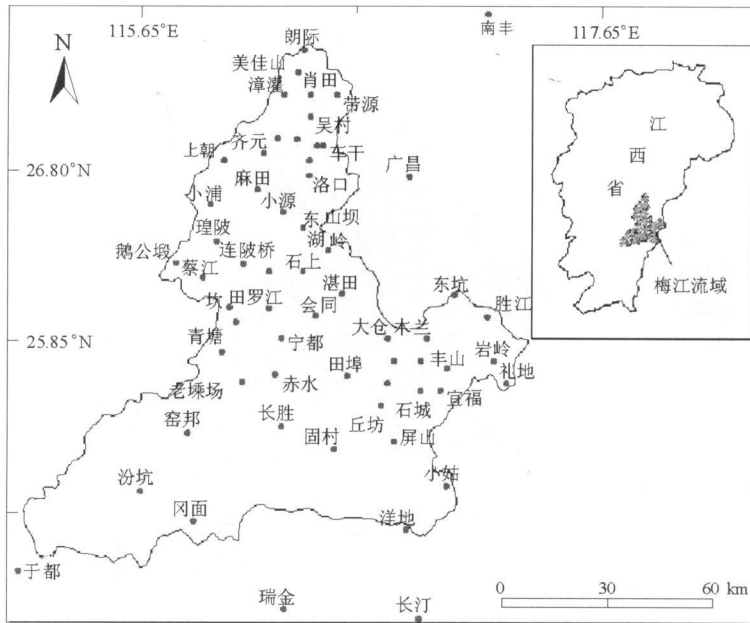


图 1 梅江流域方位及气象、水文及雨量站的空间分布图

Fig. 1 Spatial Distribution of Meijiang and Meteorological Station, Hydrological Station and Precipitation Station

## 2 分布式水文模型及数据处理

### 2.1 分布式水文模型

Topmodel 是英国兰切斯特大学 Beven 和 Kirkby 开发的一种以数学方式表示水文循环过程的基于物理的半分布式流域水文模型。模型适合在山区进行产汇流计算<sup>[15, 16]</sup>, 且模型参数较少, 可以灵活的改进参数达到更好的模拟效果<sup>[17]</sup>。SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 是美国农业部 (USDA) 开发的水文模型。它能够利用 GIS 和 RS 提供的空间信息, 模拟复杂大流域中多种不同的水文物理过程, 包括水、沙和化学物质的输移与转化过程<sup>[18~ 20]</sup>。SWAT 主要应用在流域的产流和汇流、产沙的模拟, 非点源污染的模拟和模型的输入参数对模拟结果的影响等研究上, 特别是农业土地利用

方式的改变对流域径流量的改变和流域营养物质输出量的改变上<sup>[21~ 26]</sup>。

### 2.2 数据处理过程

模型模拟需要的主要数据有地形数据、土地利用数据、植被数据、气象等数据, 主要数据列表如表 1 所示:

表 1 两个模型的输入数据  
Tab. 1 Data Input in the Two Models

SWAT 数据类型	主要参数	Topmodel 数据类型	主要参数
数字高程模型 (DEM)	高度、坡度、坡向	数字高程模型 (DEM)	高度、坡度、坡向
气象数据	降水、太阳辐射、温度	气象数据	降水、太阳辐射、温度
土地利用图	主要土地利用类型分布	地形指数分布图	地形指数的分级
土壤	密度、饱和水传导率、持水率、颗粒密度	其它流域参数	退水曲线等参数

使用上述数据建立模型空间数据库和非空间数据库的过程如下:

地形数据库的建立, 本研究使用的地形数据来源是国家基础地理信息中心标准的 1: 25 万地形数据, 利用 ArcGIS, 经过图幅的合并以及处理加工, 形成了高程模型( DEM) 等专题内容图。

水系和流域边界的建立, 流域水系图和边界是在 Mapinfo 格式下, 应用 1: 25 万地图作为底图, 矢量化、删除流域内湖泊水库, 连接各个河流整理后生成。

土壤数据库的建立, 土壤分布及属性资料采用 1: 100 万数字化土壤图, 其中土壤属性包括沙粒、粉砂、粘粒、有机质、土壤 pH 值、全磷、全氮、速效磷和容重等。

水文气象数据库的建立, SWAT 模拟的一个重要边界条件是气象条件。通过资料的收集与整理, 得到了梅江流域内 60 多个雨量站、8 个气象站点, 1986~ 1987 和 1995~ 2000 年 2 个时间段的信息, 包括流域各个站点的降水、最高与最低气温、风速、相对湿度, 3 个水文站的径流量以及各个站点地理位置高程等信息。

土地利用数据库的建立, 土地利用资料包括流域内 1980、1987 和 2000 年 3 期的 1: 10 万数字化地图, 图 2 是梅江流域 2000 年的土地利用图。

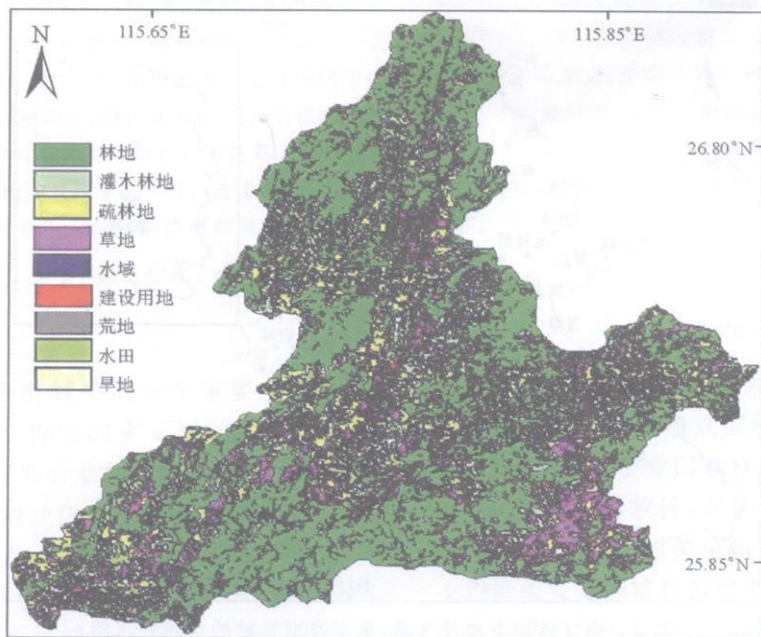


图 2 梅江流域 2000 年土地利用图

Fig. 2 Land Use Map of Meijiang Basin in 2000

整个梅江流域, 林地的变化量不大, 但是由于流域内的水土保持工作和土地整理工作的连续开展, 森林处于一个不断生长的过程, 森林植被的生物量、覆盖度都迅速提高, 2000 年的植被覆盖状态总体上较 1980 年好。将不同土地利用下的植被信息通过遥感获取的植被指数(NDVI) 经过经验性转换成叶面积指数(LAI), 然后添加到 SWAT 模型中的植物数据库中。流域内的植被指数(NDVI) 由 1987 年

和 2000 年 9 月份 4 个时相的 NOAA/AVHRR 数据经辐射校正以后平均计算而得。从表 2 可以看出, 不同年代之间梅江流域的植被面积变化不大, 但从叶面积指数角度来看, 林地 LAI 增加了 50. 1%, 园地增加了 51. 4%。叶面积指数是单位土地面积上植物的总叶面积, 因此在某种程度上, 它可以反映在一定的空间范围内植被的覆盖度。叶面积指数的增加意味着植被覆盖度的增加。

表 2 梅江流域土地利用/覆盖、叶面积指数的变化

Tab. 2 Changes of Land Use/ Cover Types and LAI in Meijiang Watershed

	土地利用/ 覆盖(km <sup>2</sup> )					叶面积指数			
	林地	园地	草地	居民地	耕地	林地	园地	草地	耕地
1987 年	4 791. 5	601. 0	96. 0	69. 1	1 425. 5	2. 87	2. 76	3. 11	3. 23
2000 年	4 800. 7	592. 5	95. 9	70. 5	1 423. 6	4. 32	4. 18	3. 07	3. 31
差值	9. 2	- 8. 5	- 0. 1	1. 4	- 1. 9	1. 45	1. 42	- 0. 04	0. 08

注: 流域总面积为 7 099 km<sup>2</sup>。

### 3 模拟思路及模拟的率定和效验

#### 3.1 模拟思路的设计

前期模拟: 在整个流域范围内对 1986~1987 年的水文状态进行模拟, 这个阶段可以看作流域自然生态发展的转折时期, 从该时间段开始, 流域的植被迅速恢复, 此时流域水文状态作为历史上人类活动对自然强烈干扰的末期。后期模拟: 1995~2000 年水文模拟, 把它作为植被恢复生态功能的后期水文响应模拟; 模拟此时的流域水文特征, 用于和前期的模拟结果比较, 分析植被的变化对径流量和汇流过程的影响<sup>[27,28]</sup>, 此时的模拟分别在整个流域和一个子流域 2 个不同的尺度上进行。

#### 3.2 SWAT 模型的模拟率定和效验

模型的率定: 采用窑邦、汾坑 2 个水文站的数据进行。窑邦水文站上游的集水面积为 347 km<sup>2</sup>, 汾坑流域上游集水面积为 6 135 km<sup>2</sup>。SWAT 模型中, 地表径流的敏感参数包括径流曲线系数(Curve Number, CN2)、土壤饱和含水量(SOL\_AWC)和蒸发补偿因子(ESCO)这 3 个敏感因子。调整模型的参数后进行再次模拟, 1987 年的模拟结果见图 3。

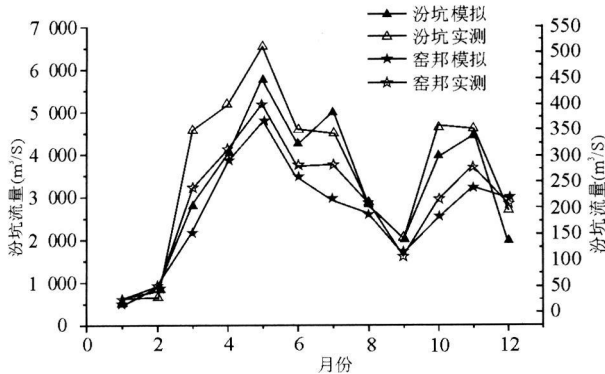


图 3 模型校准后 1987 年的月流量模拟

Fig. 3 Monthly Runoff Simulation in 1987  
After Calibration the Model

模型的效验: 使用参数率定好的模型来模拟 2000 年的水文特征, 将模拟结果与实际结果比较, 本研究采用的是相关系数  $R^2$  和 Nash-Sutcliffe 系数来比较 2 组数据。Nash-Sutcliffe 系数反映了模拟值和实测值在量上的统计差异程度。其计算表达式为:

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_m - Q_p)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_m - Q_{avg})^2}$$

式中:  $Q_m$  为实测值;  $Q_p$  为模拟值;  $Q_{avg}$  为实测值的平均值;  $n$  为计算的样本数量。  $E_{NS}$  的值为 0~1, 其结果越接近 1 表示模拟效果越好, 越接近 0 表示模拟效果越差。

最后计算模拟值与实测值之间的  $R^2$  值和  $E$  值, 汾坑和窑邦 2 个水文站的结果分别为 0.88、0.75 和 0.89、0.72, 这表明, SWAT 模型模拟的结果在模拟的时间段内具有良好的适用性, 可以用在与流域的径流相关的各种模拟分析中。

#### 3.3 Topmodel 模型的模拟率定和效验

由于模型使用尺度的限制, 综合考虑流域内的地形和水文条件, 最后选定梅江的一个子流域——琴江流域(670 km<sup>2</sup>) 作为研究区域, 运行 Topmodel 模型并且调整其中的 5 个主要参数为:  $m = 0.032$ ,  $\ln(\tau_0) = 5$ ,  $sr_{max} = 0.05$ ,  $sr_{init} = 0$ ,  $chvel = 3600$ ; 与 SWAT 模型的校验一样, 采用了 2000 年这一时间段的降水数据来校验模型, 检验模型效果的 5 个参数的值为:  $eff = 0.751$ ,  $sse = 1.45E - 6$ ,  $sle = 44.029$ ,  $sae = 0.028$ 。从 5 个参数的结果来看, 模型的模拟达到了较好的效果。

设定 Topmodel 的参数后, 模型把 1987 年地表的物理意义记录进了模型中, 若只是改变输入的降水和流量数据, 模拟时地表还是 1987 年的地表土地利用和植被状况, 这为下一步分析流域汇流过程变化提供一个基准状态。

### 4 植被变化的水文响应模拟分析

#### 4.1 径流总量变化的分析

由于取得的土地利用图只有 1980、1987、2000 年的 3 期, 气象资料时段为 1986~1987 和 1995~2000 年 2 个时间段的信息, 进行年径流总量变化的模拟时只能采用土地利用数据和气象数据均完整的年份。因此在 SWAT 模型中使用了 2000 年的土地利用/覆盖和植被数据、1987 年的气象参数, 模拟得到流域的径流量 a 与使用 1987 年的土地利用/覆盖和植被数据、1987 年的气象参数模拟得到的径流量 b 作比较, 这样剔除了流域内 2 个不同年份的气候变化的影响。

图 4 是 1987 年逐日模拟流量 a 与模拟流量 b, 模拟流量 a 与 b 的日流量在时间上是一致的, 数量上有一些明显的差异, 模拟流量 b 在 1987 年的第 96 天、142 天、237 天、292 天的流量上数量小于模拟流量 a, 但是总体上模拟流量 b 大于模拟流量 a。造

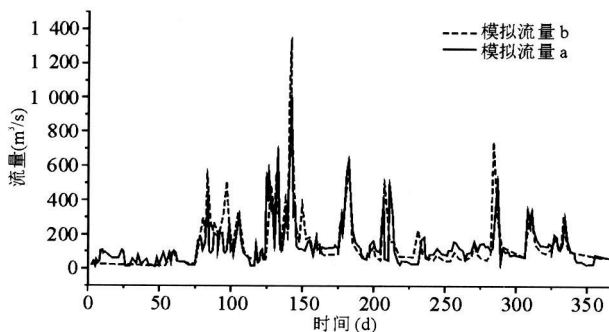


图 4 SWAT 模拟的不同土地利用/覆盖方式下的径流量

Fig. 4 Runoff Simulation Using SWAT Between Different Land Use/Cover Types

成这个结果的可能原因是模型模拟时对参数的校正导致了在峰值径流量上的差异,后期的土地利用和地表的植被覆盖发生的变化导致了流域产汇流量的变化。

表 3 表示了模拟流量 a 与模拟流量 b 的结果对比,除了 3 月份的模拟流量 a 比模拟流量 b 小外,其余月份的径流总量都比模拟流量 b 的结果大,从中可以看出,使用 2000 年土地利用/覆盖和植被数据时的径流量 a 比使用 1987 年土地利用/覆盖和植被数据时的径流量 b 增加了 14.6%。

表 3 模拟流量 a 与模拟流量 b 的结果对比

Tab. 3 Comparison Between Simulated Water Flow Under 1987' Scheme and Simulated Water Flow Under 1987' Scheme with Land Use/Cover and LAI in 2000

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	总量
模拟流量 a(亿 m <sup>3</sup> )	1.066	1.039	3.847	4.988	9.979	4.613	5.509	2.871	2.023	4.429	4.734	2.687	47.805
模拟流量 b(亿 m <sup>3</sup> )	0.503	0.558	3.936	4.455	9.082	3.937	4.729	2.467	1.767	3.983	3.976	2.322	41.715
差值(亿 m <sup>3</sup> )	0.563	0.481	-0.089	0.533	0.897	0.676	0.78	0.404	0.256	0.446	0.758	0.365	6.07
增量比例(%)	111.92	86.2	-2.26	11.96	9.87	17.17	16.49	16.37	14.48	11.19	19.06	15.71	14.55

## 4.2 汇流过程变化的分析

用 Topmodel 模型模拟 1995~2000 年 7 次洪水的汇流过程,由于该模型的地表参数在此前的模拟中已经进行了校正,并且在此部分模拟中,模型的其它参数不变,仅改变气象参数的输入,此时相当于用 1995~2000 年的气象数据和 1987 年的下垫面数据来模拟流域的洪水汇流过程;比较模拟的汇流过程曲线与实际的洪水汇流过程曲线,分析汇流过程的变化。图 5 是 Topmodel 模拟的洪水汇流曲线与实际的洪水汇流曲线之间的比较,分析这些曲线的走势和曲线之间的关系,判别各个曲线代表的实际意义。Topmodel 模拟的峰值径流的出现时间比实际的峰值径流的出现时间提前,从模拟的 7 次汇流过程均可看出来;模拟的洪峰流量大于实际的洪峰流量,两者在数量上平均相差 5%。实际的汇流过程线从“波峰”下降到“波谷”时,曲线的陡度相对于模拟值要平缓,这说明了实际的洪峰消退时间要长于模拟值。综上所述表明:在相同的气象条件下,由于地表的土地利用状态的变化、森林面积的变化以及森林生物量的增加和植被的组合状态变化引起了流域地表水循环状态发生了改变,1995~2000 年的土地利用/覆盖和植被状态与 1987 年的相比,同次降水产生的峰值径流出现时间延迟,消退时间延长,峰值径流量降低。

## 5 结论

使用分布式水文模型, SWAT 和 Topmodel,对赣江的源头梅江流域 20 年内植被状态的变化所引起的水文特征改变进行了模拟研究,得到了不同的植被覆盖状态下,流域水文特征的变化。模拟流域在同样气象条件下,不同土地利用/覆盖和植被数据下的径流量和降水的汇流过程,模拟结果与实际测量结果进行效率校验时,检验参数均达到了理想范围,这说明了本研究应用模型来模拟梅江流域的流量具有一定的合理性和适用性。模拟结果表明:排除研究时间段内流域气候变化的影响,仅变换流域下垫面的属性,植被的变化对流域水文特征产生了明显影响, SWAT 模型在整个梅江流域范围内的模拟表明,2000 年径流总量相对于 1987 年的径流总量增加了 14.6%,2 次模拟的流量曲线能较好的对应,2 个曲线在数量上和一段段的峰值流量上有差异,这是由于地面植被状态的变化引起的汇流变化和模型的参数调试引起的误差造成的; Topmodel 模型在梅江流域的子流域——琴江流域内进行的汇流过程变化模拟分析,发现 1995~2000 年的土地利用/覆盖和植被状态下的洪峰峰值径流出现时间比 1987 年的土地利用/覆盖和植被状态下的洪峰峰值径流出现时间延迟,并且洪峰消退时间延长,多次峰

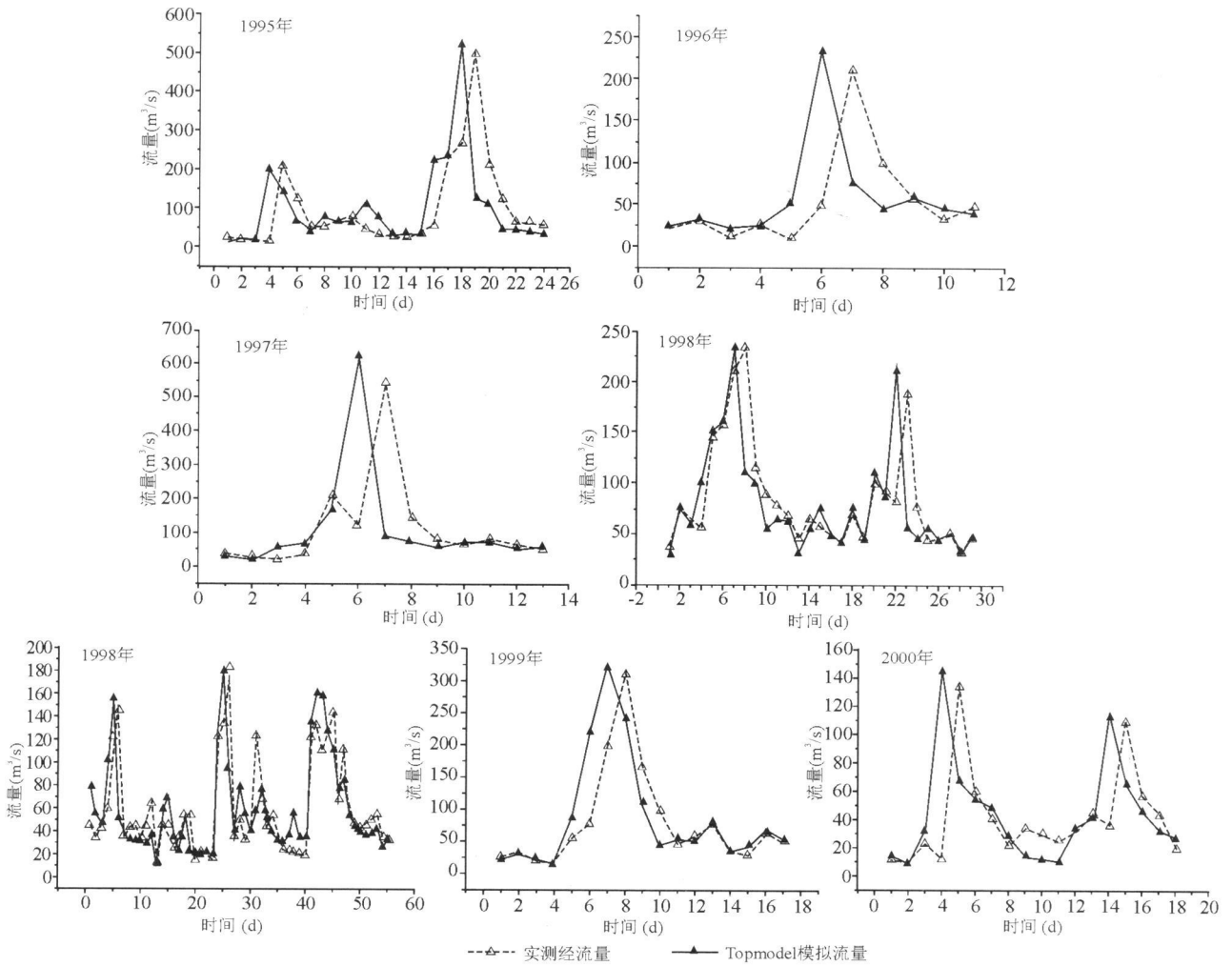


图 5 Topmodel 模拟的洪水径流量与实测径流量

Fig. 5 Runoff Simulation Using Topmodel and the Runoff of Observation

值径流量平均减少量约为 5%，这说明在后期的土地利用和植被覆盖下，流域拦水能力提高，能显著的消减洪峰，延缓洪水过程。梅江流域从上个世纪 80 年代开始，在其范围内进行了大规模的植树造林、国土整治等工作，其森林覆盖率和森林的质量均有提高，模拟结果证明植被在改善流域水文状态上具有良好的效果，流域内的生态造林和森林植被恢复工程促进了流域生态的健康。

参考文献:

[1] 王清华, 李怀恩, 卢科锋, 等. 森林植被变化对径流及洪水的影响分析[J]. 水资源与水工程学报, 2004, 15(2): 21~ 24.  
 [2] 龙花楼. 黄河源头特殊生态功能区的建设及预期影响[J]. 国土资源与研究, 2001(1): 44~ 46.  
 [3] 王维岳, 石海宝. 黄河源头地区的生态建设与保护[J]. 水土保持通报, 1997, 17(7): 66~ 71.

[4] 胡细英, 蒋英文, 胡俊. 鄱阳湖流域江河源头地区水环境立法保护[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 275~ 277.  
 [5] 李艳, 陈晓宏, 王兆礼. 人类活动对北江流域径流系列变化的影响初探[J]. 自然资源学报, 2006, 21(6): 910~ 915.  
 [6] 王德连, 雷瑞德, 韩剑举. 国内外森林水文研究现状和进展[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(2): 156~ 160.  
 [7] 魏晓华, 李文华, 周国逸, 等. 森林与径流关系——一致性和复杂性[J]. 自然资源学报, 2005, 20(5): 761~ 770.  
 [8] 陈军峰, 李秀彬. 土地覆被变化的水文响应模拟研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(5): 833~ 836.  
 [9] 邓慧平, 李秀彬, 陈军锋, 等. 流域土地覆被变化水文效应的模拟——以长江上游源头区梭磨河为例[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 53~ 62.  
 [10] 王盛萍, 张志强, 孙阁, 等. 黄土高原流域土地利用变化水文动态响应[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(1): 48~ 54.  
 [11] 张晓明, 余新月, 武思宏, 等. 黄土区森林植被对流域径流和输沙的影响[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(3): 48~ 53.  
 [12] 王根绪, 丁承建, 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.

- [13] 孙 阁, 张志强, 周国逸, 等. 森林流域水文模拟模型的概念、作用及其在中国的应用[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(3): 179~ 184.
- [14] 李恒鹏, 王旭强, 杨桂山, 等. 基于单元网格的 STREAM 分布式水文模型及其应用[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(6): 715~ 720.
- [15] 陈仁升, 康尔泗, 杨建平, 等. Topmodel 模型在和黑河干流出山径流模拟中的应用[J]. 中国沙漠, 2003, 23(4): 428~ 434.
- [16] 熊立华, 郭生练, 田向容. 基于 DEM 的分布式流域水文模型及应用[J]. 水科学进展, 2004, 15(4): 517~ 520.
- [17] 吴 波, 张万昌. 基于栅格产汇流的 TOPMODEL[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(5): 661~ 666.
- [18] 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.
- [19] ZHANG XUESONG, HAO FANGHUA, CHENG HONG-GUANG, et al. Application of SWAT model in the upstream watershed of the Luohe river[J]. Chinese Geographic Science, 2003, 13(4): 334~ 339.
- [20] 张银辉. SWAT 模型及其应用研究进展[J]. 地理科学进展, 2005, 24(5): 121~ 129.
- [21] CHAPLOT V, SALEH A, JAYNES D B, et al. Predicting Water, Sediment and NO<sub>3</sub>-N Loads under Scenarios of Land-use and Management, Practices in a Flat Watershed[J]. Water, Air and Soil Pollution, 2004, 154(4): 271~ 293.
- [22] SCHOMBERG J D, HOST G, JOHNSON L B, et al. Evaluating the influence of landform, surficial geology, and land use on streams using hydrological simulation modeling[J]. Aquatics Science Research Across Boundaries, 2005, 67(4): 528~ 540.
- [23] GEORGIOS D G, TRISEVGENI Y, VASSILIOS A T. Environmental modeling and assessment[J]. Hydrobiologia, 2006, 11(3): 219~ 233.
- [24] YU G E, XUE BIN, LAI G Y, et al. A 200-Year historical modeling of catchment nutrient changes in Taihbasin, China [J]. Hydrobiologia, 2007, 581: 79~ 87.
- [25] RODE M, LINDENSCHMIDT K E. Distributed sediment and phosphorus transport modeling on a medium sized catchment in central germany[J]. Pergamon, 2001, 26(8): 635~ 640.
- [26] LAI G Y, YU G E. Preliminary study on assessment of nutrient transport in the Taihu Basin based on SWAT modeling [J]. Science in China series D: Earth Sciences, 2006, 49(1): 135~ 145.
- [27] 冯 浩, 吴淑芳, 吴普特, 等. 草地坡面径流调控放水试验研究 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 23~ 25.
- [28] 汤立群, 陈国祥. 流域尺度与治理对产流模式的影响分析研究 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 22~ 28.

## SIMULATION OF HYDROLOGICAL EFFECTS OF VEGETATION EVOLUTION IN HEADSTREAM OF GANJIANG

LIU Zhi-yong<sup>1</sup>, LAI Ge-ying<sup>2</sup>, PAN Shao-ming<sup>1</sup>

(1. Ministry of Education Key laboratory of Coastal and Island Development, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Key Lab of Poyang Lake Ecological Environment and Resource Development, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China )

**Abstract:** Using physically-based and parameter-distributed hydrological models, SWAT and Topmodel, hydrological effects caused by vegetation evolution within nearly 20 years in the headstream of Ganjiang was simulated. Based on the different characteristic of the models, different simulation steps were conceived. Changing of runoff in different years was simulated by SWAT, and changing of flux process in different years was simulated by Topmodel. The results shows: exclude the influence of climate change between the various scenes, only using different land use/cover and vegetation elements in the two models. Vegetation evolution in the Meijiang basin made the changing of hydrological effects apparently. In the whole basin, annual runoff was increased by 14.6% from 1987 to 2000. In its sub-basin Qingjiang, the conflux speed was decreased, and peak discharge was decreased approximately by 5% in 7 inundations from 1995 to the year of 2000. The eco-hydrological effects of vegetation change in Meijiang basin given strong evidence that the work of afforestation and land consolidation, also called as “Mountain Rivers and Lake Project” in Jiangxi Province, have good feedback effects to the ecological healthy of the basin.

**Key words:** distributed hydrological model; vegetation evolution; hydrology simulation; Meijiang Basin