

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2018.02.031

大型工程建设规划的生态水文响应模拟 ——以天府国际机场建设为例

宋长明, 颀文怡, 张馨月, 阚 韬, 辜 彬

(四川大学生命科学学院生物资源与生态环境教育部重点实验室, 成都 610065)

摘要: 本文以天府国际机场为例, 尝试引入流域分布式水文模型(SWAT模型), 探索机场建设和保护对举人河流域生态水文的影响, 为工程项目保护规划的制定提供依据和评价支撑。模型校准结果显示, 率定期的 R^2 和 NS 值分别为 0.81、0.71, 验证期的 R^2 和 NS 值分别为 0.70、0.53, 模型对流域径流模拟效果较好。结合机场建设工程和生态补偿规划, 设置了“建设破坏”和“下游修复”情景, 结果表明, 机场“建设破坏”使流域地表径流至少增加 10%、植物根部入渗量减少 20% 以上、实际蒸发值增加, 河川径流和产水量减少, 建设破坏效果明显; 流域“下游修复”使地表径流、产水量和河川径流大幅减少, 下游治理修复措施是有效的。

关键词: 生态规划; 天府国际机场; SWAT 模型; 情景模拟

中图分类号: Q14 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2018)02-0387-07

Eco-hydrological response simulation of large-scale project construction planning: a case study of Tianfu International Airport

SONG Chang-Ming, XIE Wen-Yi, ZHANG Xin-Yue, KAN Tao, GU Bin

(Key Laboratory of Bio-resources and Eco-environment, Ministry of Education,
College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The complex disturbance, weak theoretical basis and lack of methodology are the difficulties of protection program design. With Tianfu International Airport as an example, we try to apply the distributed hydrological model (SWAT model) to explore the Ju ren River's ecological hydrology response to airport construction and protection, providing a basis for the planning and evaluation of the project planning and protection measures. The result shows that the R^2 and NS of model calibration are 0.81 and 0.71 respectively, 0.70 and 0.53 in model validation, so the model has good effect on runoff simulation. Combined with the airport projects and ecological compensation planning, we set up "construction damage" and "downstream restoration" scenarios, the result shows that the "construction damage" scenario increases the surface runoff by at least 10%, root infiltration by more than 20%, the actual evaporation value increases, meanwhile the runoff and water production decrease, so construction damage effect is obvious. The "downstream restoration" scenario reduces surface runoff, water production and river runoff significantly, so the ecological restoration has a certain effect.

Keywords: Ecological planning; Tianfu International Airport; SWAT model; Scenario simulation

收稿日期: 2017-03-21

基金项目: 成都天府国际机场指挥部研究基金(16H0584)

作者简介: 宋长明(1991-), 男, 四川资阳人, 硕士研究生, 研究方向为园林设计与工程. E-mail: scmcsu@163.com.

通讯作者: 辜彬. E-mail: amakusa@126.com.

1 引言

大型工程生态保护的研究多集中于高速公路边坡^[1-4],近年来随着国内机场建设加速,研究也逐渐关注机场项目的生态保护,其中机场水生态保护是热点问题,有学者建议在机场建设中引入低影响开发技术(Low Impact Development)^[5-7].低影响开发是一种新兴的雨水管理模式,采用源头控制理念,实现雨水排放及有效利用,其与区域水文循环直接相关,涉及降水、截留、入渗、产流、输移、蒸散等复杂生态过程,受土地利用变化、管理措施和气候条件等多因素影响^[8].SWAT (Soil and Water Assessment Tool)模型是研究区域水文循环的有力工具,国内学者利用该模型已解决了流域径流模拟、点源污染分析、土地覆盖变化情景分析等问题^[9-11].

生态水文主要研究生态系统中生态格局与水文之间的相互关系,强调以水文数据为支撑,探讨维持生态系统健康和可持续发展所需的水文状态.结合系统学和生态学理论,认为大型工程的生态水文影响是复杂立体的,低影响开发规划不应局限于建设区内的雨洪管理,更应该包括建设区周边的生态保护,将保护视为系统性工程.为减弱机场建设对区域生态水文服务功能的破坏,将低影响开发有效运用到天府国际机场建设中,机场建设规划了在建设区内外植树造林、边坡植被恢复、堰塘湿地调整、林分生态改造与绿化景观相结合绿地系统等,采用就近生态补偿的方式弥补建设区生态系统损失.但由于规划理论薄弱、系统依据不充分,规划的整体质量也难以评判,科学性合理性缺乏依据,现有理论难以预估规划的成效,这极大地降低了相关规划的科学性.因此,结合机场工程对举人河生态水文服务功能的保护规划,考虑以举人河流域对机场建设和生态保护的水文响应为抓手,尝试引入SWAT模型,将植树造林的生态补偿规划转化为模型情景模拟,从模型输出结果入手,验证保护措施的具体效果.研究将SWAT模型作为低影响开发的工具,为生态保护方案编制提供依据,为有效制定生态措施寻找理论支撑点.

2 材料与方法

2.1 材料

2.1.1 研究区概况 天府国际机场项目地处简阳市(成都市代管)芦葭镇,位于成都市中心城区东南方向,龙泉山脉东侧,占地约49.2km².项目区属于

亚热带季风气候,气候温和,夏季高温多雨,冬季几乎无降雪,年平均降水量874mm.机场场址周围水网密集,汇水方向大致沿场址中部分别汇入东西两个方向,水文地质条件分析表明,可划分为举人河、绛溪河东西两个水文地质单元.机场场址东侧设计建设两条飞行跑道,建设区将覆盖举人河上游部分区域,覆盖面积约为18.5km²,该区域为典型的农耕地,旱地和水田占比达85%以上.举人河流域总面积约为53km²,流域土地利用类型为旱地(63.01%)、水田(18.32%)、城镇(9.67%)、林地(5.74%)、草地(3.25%),机场建设使举人河上游的农业用地转变为城镇用地,减少了流域面积,同时,机场建设区的不透水性还增加了流域上游的地表径流输入.

2.1.2 SWAT模型 SWAT模型由美国农业部研究发展中心(USDA-ARS)开发,该工具能结合一系列空间和属性数据,预测分析土地管理实践措施对地表径流、沉积物和农业化学产量的影响.模型本质是基于数学物理公式,通过整合多源监测数据,模拟流域实际情况.SWAT模型采用模块化结构设计,主要分为水文模拟、沉积分析、氮循环、磷循环、植物生长、点源污染等模块,进行单个模块分析时需要输入特定要求的数据.

SWAT模型可以进行连续时间序列的模拟,其流域水文过程分为水循环的陆面部分和水循环的水面部分,陆面部分控制着每个子流域内主河道的水、沙、营养物质等的输入量;水面部分决定水、沙、营养物质等从河网向流域出口的运动过程^[12-13].

SWAT模型水文循环基于式(1)水量平衡方程:

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - Pe_i - QR_i) \quad (1)$$

式中:SW_t为土壤的最终含水量(mm);SW_o为第i天可被植被吸收的土壤原始含水量,定义为原始土壤含水量减去凋萎点含水量(mm);t为时间(day);R_i为第i天的降水量(mm);Q_i为第i天的地表径流量(mm);ET_i为第i天的蒸散发(mm);Pe_i为第i天存在于土壤剖面底层的渗透量和测流量(mm);QR_i为第i天的地下水回流量(mm).

2.2 方法

2.2.1 研究流程 研究通过构建反映建设区东侧举人河流域水文状况的SWAT模型,提取量化数

据,分析工程项目规划相应的生态水文变化情况(图1)。研究需要搜集项目区的数字高程数据、土地利用数据、土壤数据和气象等数据,用于构建初始模型;利用 SWAT-CUP 软件对初始模型进行校准,调整内置参数后得到校准模型;结合机场的各项建设工程,调整地形高程、土地利用变化类型、河网等输入数据,对“建设破坏”与“下游修复”进行情景模拟,最终得到机场建设规划的生态水文响应状况。

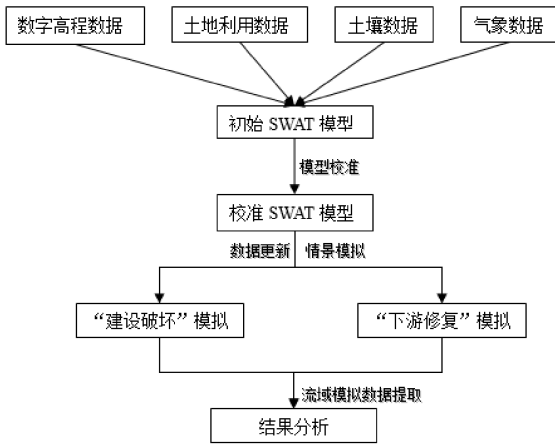


图1 生态水文响应模拟流程图

Fig. 1 Ecohydrological response simulation flow chart

2.2.2 SWAT 模型建立 模型建立首先需要搜集研究区域大量的自然基底数据,这些数据必须转换为模型认可的标准数据类型;其次,模型依据流域土壤物理化学特征、土地利用方式和坡度等因素,将研究流域划分为若干子流域和水文响应单元,构建生态水文响应体系;最终,运行模型并进行模型校正,校正合格后,研究区的 SWAT 模型成功建立。

1) 基础数据

数字高程数据

该数据基于机场建设区周边等高线数据,利用 ArcGIS10.2 软件生成建设区的数字高程数据,同时进行裁剪和投影操作,投影坐标系设置为 Beijing_1954_3_Degree_GK_CM_105E,土地利用类型和土壤数据的投影坐标系统必须与数字高程数据保持一致。

土地利用数据

该数据基于机场建设区周边的高分辨率航拍影像,利用 ERDAS 软件进行监督分类,最终得到 SWAT 模型所需的 AGRC、RICE、URBN、FRSD 等土地利用类型。

土壤数据

该数据来源于寒区旱区科学数据中心的“基于世界土壤数据库(HWSD)的中国土壤数据集(v1.1)”,由于此数据库数据不完全涵盖 SWAT 模型所需数据,需结合土壤水文特性软件 SPAW 计算,补充 SWAT 所需的土壤物理属性^[14]。

气象数据

该数据部分来源于寒区旱区科学数据中心 SWAT 模型中国大气同化驱动数据集(孟现勇, SWAT 模型中国大气同化驱动数据集 CMADS V1.1 寒区旱区科学数据中心,2016.),部分数据来源于中国气象数据网,部分缺失的太阳辐射数据由模型自带的“天气发生器”模拟补充完整。

2) 模型子流域构建 SWAT 模型将利用数字高程数据,依据高程值生成研究区河网,确定流域出口后构建子流域,综合子流域内的土地利用、土壤、坡度分类,生成一系列的水文响应单元(HRUs)。每个水文单元将对模型的输入数据进行响应,水文单元的输出将通过河网整合,最终反映整个流域的生态水文状况。举人河流域中构建了 8 个子流域,共有 161 个水文响应单元(图 2)。

3) 模型校正 利用 SWAT-CUP 软件选择 SUFI-2 方法对模型进行率定和验证,同时,进行参数敏感性分析。模拟结果有效性通过模拟值与实测值的统计分析结果来评价^[15],模拟值与实测值的吻合程度使用确定性系数(R^2)和 Nash-Sutcliffe 效率系数(NS)判定,系数 R^2 的理想值为 1,其值越小反映出数据吻合程度越低,一般认为 NS 在 0.5~0.65 之间的模拟结果是可以接受的,NS 在 0.65~0.75 之间的模拟结果比较好,NS 达到 0.75 以上的模拟结果非常好^[16]。

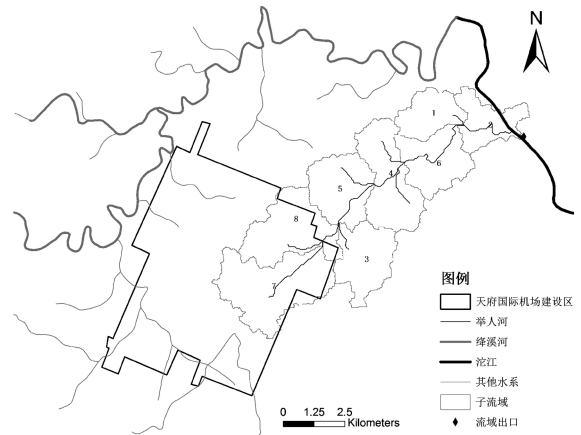


图2 SWAT模型中举人河子流域划分图

Fig. 2 The subbasins of Ju ren River in SWAT model

确定性系数(R^2)和 Nash-Sutcliffe 效率系数

(NS)计算方法见式(2)和式(3):

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)(Q_{s,i} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2 \sum_i (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2} \quad (2)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_i (Q_{m,i} - Q_{s,i})^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2} \quad (3)$$

上式中, i 表示第 i 个观测或模拟数据, $Q_{m,i}$ 表示观测径流值($m^3 \cdot s^{-1}$), $Q_{s,i}$ 表示模拟径流值($m^3 \cdot s^{-1}$), \bar{Q}_m 表示观测径流值的算术平均值($m^3 \cdot s^{-1}$), \bar{Q}_s 表示模拟径流值得算术平均值($m^3 \cdot s^{-1}$).

模型率定与验证

本文以月为模拟步长,对举人河流域 1995~2014 年的月径流进行模拟. 由于模型在运行前期,许多变量如土壤含水量的初始值为零,会影响模型模拟的结果,所以需要将模拟初期作为模型的预热期,合理估算模型参数的初始值. 因此,本文将 1995~1996 年作为预热期,从而减少此类误差的影响,1997~2006 年为模型校准期,2007~2014 年为模型验证期,最后确定模型参数值. SWAT-CUP 每次生成的建议参数范围存在一定的不稳定性,有时会超出参数极限范围,或超出实际已测得的参数范围,需要研究人员根据实际流域输入条件加以修正^[17]. 选取举人河流域出口的径流观测值与模拟值进行对比(图 3、图 4),判定模型准确度.

由图可见,模型的月平均流量模拟值与观测值吻合较好. 模型率定期的确定性系数 R^2 为 0.81,效率系数 NS 为 0.71;验证期得到的确定性系数 R^2 为 0.70,效率系数 NS 为 0.53,构建的模型符合精度要求,该模型是可行的.

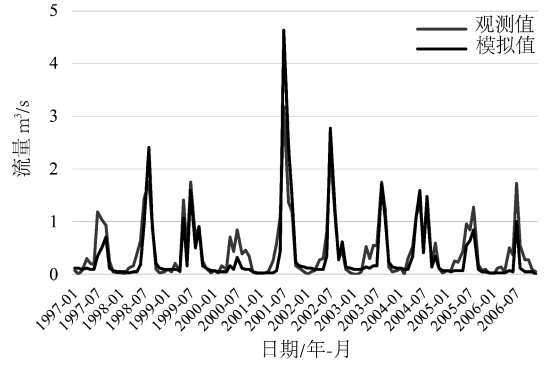


图 3 率定期月径流实测值与模拟值对比
Fig. 3 The monthly river runoff rate measured and simulated values compared in model calibration

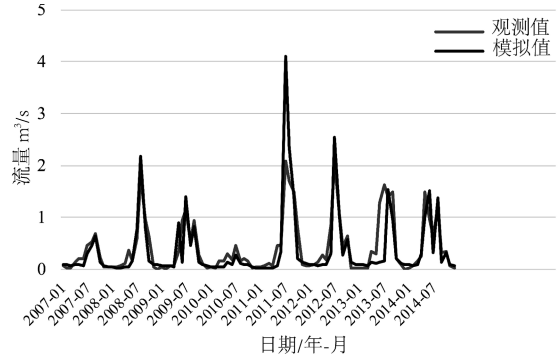


图 4 验证期月径流实测值与模拟值对比
Fig. 4 The monthly river runoff rate measured and simulated values compared in model validation

敏感性分析

SUFI-2 方法采用拉丁超立方体采样(Latin hypercube sampling)产生参数,通过多元回归方程来确定参数灵敏度,通过敏感性分析,选取了敏感性前六的参数进行率定,并确定了相应的最佳取值,如下表 1.

表 1 参数敏感性分析结果及率定最终值

Tab.1 Parameter sensitivity analysis and the final values in calibration

| 参数 | 参数描述 | t-stat | P-value | 参数范围 | 率定最终值 |
|-----------------|----------------|--------|---------|-----------|----------|
| V__CH_K2. rte | 河道有效水力传导系数 | -7.56 | 0.00 | -0.01~500 | 21.2500 |
| V__GWQMN. gw | 浅层地下水径流系数 | -2.79 | 0.01 | 0~5000 | 441.5000 |
| V__REVAPMN. gw | 浅层地下水再蒸发系数 | 2.52 | 0.02 | 0~500 | 477.0000 |
| V__ALPHA_BF. gw | 基流 α 系数 | 2.29 | 0.03 | 0~1 | 0.4495 |
| V__ESCO. hru | 土壤蒸发补偿系数 | -2.08 | 0.04 | 0~1 | 0.4525 |
| R__CN2. mgt | 主河道曼宁系数值 | 1.71 | 0.09 | -0.01~0.2 | 0.1617 |

注: .rte 表示主河道文件, .gw 表示地下水文件, .hru 表示 HRU 常规输入文件, .mgt 表示 HRU 管理文件. V_ 表示参数原值被率定值取代, R_ 表示参数原值乘以(1+率定值). t-stat 值表示参数敏感性的程度,绝对值越大参数敏感性越大, P-value 表示敏感性的显著性,值越接近 0,越显著,表中参数按敏感性大小从大到小排列.

3 结果与分析

为模拟机场建设对流域生态水文的影响,分别设置了“原始情景”、“建设破坏”和“下游修复”情

景. 机场建设前,举人河流域保持自然状态,设定此为“原始”情景. 机场建设时,破坏了举人河流域自然状态的产汇流过程,设定此为“建设破坏”情景(情景 1). 机场建设后,为最大化减弱机场建设对

流域的破坏,预期在举人河下游构建森林植被作为生态补偿手段,设定此为“下游修复”情景(情景 2),此情景下将举人河下游六个子流域的土地利用类型全部转变为森林类型。

SWAT 模型利用已率定的模型参数,以 1995—2014 年气象资料为基础,模拟同等气候条件下,三种情景中流域的生态水文响应状况。通过分析流域月平均模拟值,讨论了举人河上游、下游和全流域的生态水文响应。同时,由于举人河有明显的丰水期,讨论也考虑了全年和丰水期两个时间维度(见表 2~5)。

3.1 评价指标选择

经过筛选,选择河川径流量、产水量、根部入渗量、实际蒸发、地表径流量作为生态水文响应状况评价指标,各指标含义如下:

1) 河川径流量是指模拟时间步长内流出河段的平均径流值,反映地面产流、坡道汇流、河道汇流的综合作用;

2) 产水量是指模拟时间步长内从子流域进入主河道的总水量,反映地表径流、壤中流、池塘截留等作用;

3) 根部入渗量是指模拟时间步长内通过根部区域渗漏的水量,反映地表水从根部区域底部对潜水层的补给;

4) 实际蒸发是指模拟时间步长子流域内的实际蒸散发,反映土壤蒸发和植物蒸腾作用强度;

5) 地表径流量是指模拟时间步长内地表径流对主河道总径流的贡献量。

3.2 上、下游子流域响应

表 2 数据表明,机场建设使上游子流域的水文循环遭受了剧烈破坏。全年和丰水期的河川径流量、产水量、根部入渗量,较原始情景均有明显减少,而实际蒸发与地表径流量则有明显增加。全年和丰水期的根部入渗变化量分别为 76.54% 和 77.05%,地表径流量变化量分别为 60.09% 和 44.89%,两者剧烈变化的原因是机场建设直接减少了地表可渗水面积,增大径流系数,使地表径流量增加^[18]。实际蒸发值分别增加了 17.50% 和 38.72%,表明降水将快速离开地表,从而导致产水量和河川径流量的减少。综上可知,原有生态水文已失去平衡,这符合工程建设的特征^[19]。

丰水期时,流域各项参数在数值上均比全年高,变化量则略有不同。河川径流量、产水量、地表径流量均小于全年水平,这是因为丰水期原始情景

参数基数较大,而情景 1 的变化有限,因而变化量较小。实际蒸发和根部入渗量的变化量大于全年水平,分析认为是丰水期温度较高,蒸发和入渗相关的生物理化过程活跃程度高于全年水平,而机场建设阻断了这些过程,故变化量高于全年水平。

表 2 情景 1 中上游子流域月平均模拟值表

Tab. 2 The monthly mean simulated values table of upstream subbasins in scenario 1

| | 月平均模拟值 | | | 丰水期月平均模拟值 | | |
|-------|--------|-------|---------|-----------|-------|---------|
| | 原始 | 情景 1 | 变化量 (%) | 原始 | 情景 1 | 变化量 (%) |
| 河川径流量 | 0.12 | 0.09 | -26.33 | 0.23 | 0.21 | -8.85 |
| 产水量 | 26.69 | 19.73 | -26.09 | 49.65 | 45.34 | -8.69 |
| 根部入渗量 | 14.90 | 3.50 | -76.54 | 35.55 | 8.16 | -77.05 |
| 实际蒸发 | 42.35 | 49.76 | +17.50 | 66.35 | 92.04 | +38.72 |
| 地表径流量 | 9.89 | 15.84 | +60.09 | 27.35 | 39.63 | +44.89 |

注:河川径流量的单位为 m³/s,产水量、根部入渗量、实际蒸发、地表径流量的单位为 mm

表 3 中,下游子流域全年和丰水期的地表径流量减少均超过了 30%,河川径流量减少均超过 16%,产水量减少均超过 12%,而实际蒸发分别增长了 7.04% 和 14.99%。分析认为,情景 2 中构建的森林生态屏障增加了下游植被面积,导致了蒸发量的增加和径流的减少^[20-21],从而提高了流域的截留蓄水能力。根部入渗量分别增加了 2.18% 和 0.24%,反映了森林植被对地下水补给的增强作用,其原因是森林植被能减小土壤相对密度,增大土壤孔隙度和贮水量^[22]。

流域丰水期时,森林植被的各项生理活动均很活跃,因此表 3 中丰水期参数变化值普遍高于全年。丰水期入渗量变化量低于全年水平,分析认为是丰水期对应农作物的生长期,而农作物也能增强地下水入渗,所以原始情景与情景 2 丰水期的根部入渗量变化较小。

表 3 情景 2 中下游子流域月平均模拟值表

Tab. 3 The monthly mean simulated values table of downstream subbasins in scenario 2

| | 月平均模拟值 | | | 丰水期月平均模拟值 | | |
|-------|--------|-------|---------|-----------|-------|---------|
| | 原始 | 情景 2 | 变化量 (%) | 原始 | 情景 2 | 变化量 (%) |
| 河川径流量 | 0.18 | 0.14 | -18.97 | 0.33 | 0.28 | -16.60 |
| 产水量 | 25.42 | 22.36 | -12.03 | 49.12 | 40.86 | -16.82 |
| 根部入渗量 | 12.44 | 12.71 | +2.18 | 29.85 | 29.92 | +0.24 |
| 实际蒸发 | 43.89 | 46.98 | +7.04 | 72.29 | 83.13 | +14.99 |
| 地表径流量 | 9.85 | 6.49 | -34.09 | 26.71 | 17.54 | -34.33 |

3.3 全流域响应

表 4~5 呈现了三种情景下举人河全流域的参数变化,同时分析了生态补偿措施的修复效果.表 4~5 中,情景 1 增加了至少 10% 的地表径流,情景 2 则至少减少了 10% 的地表径流,而丰水期更减少了 14.17%.同时,表 4~5 中“情景 2-情景 1”的地表径流均大于 22% 的,表明情景 2 对于情景 1 增加的地表径流有较强的削弱作用,下游修复对建设破坏的地表径流控制是十分有效的.

表 4~5 中,情景 1、2 河川径流量和产水量均

减少,情景 2 的变化量要总体高于情景 1,丰水期变化更为明显.分析认为,两种情景数值减少的生态意义有本质区别,情景 1 中流域原有生态水文循环被破坏,降雨被直接排走;而情景 2 中森林复合立体的生态水文循环,使降雨更多地参与植物生理作用.针对河川径流量和产水量,情景 2 模拟值均小于情景 1,同时,全年水平下情景 2 能减少情景 1 参数的 9% 左右,丰水期达 12% 左右,表明下游修复的效果是相对明显的.

表 4 举人河流域情景模拟月平均模拟值表

Tab. 4 The monthly mean simulated values table of Ju Ren river basin in scenario 1~2

| | 原始模拟值 | 情景 1 | | 情景 2 | | 情景 2-情景 1 | |
|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-----------|--------|
| | | 模拟值 | 变化量(%) | 模拟值 | 变化量(%) | 差值 | 变化量(%) |
| 河川径流量 | 0.16 | 0.14 | -12.69 | 0.13 | -20.36 | -0.01 | -8.78 |
| 产水量 | 25.73 | 23.99 | -6.76 | 21.70 | -15.68 | -2.29 | -9.56 |
| 根部入渗量 | 13.05 | 10.20 | -21.85 | 10.41 | -20.29 | +0.20 | +1.99 |
| 实际蒸发 | 43.51 | 45.36 | +4.26 | 47.68 | +9.58 | +2.32 | +5.11 |
| 地表径流量 | 9.86 | 11.35 | +15.07 | 8.83 | -10.47 | -2.52 | -22.19 |

表 5 举人河流域情景模拟丰水期月平均模拟值表

Tab. 5 The rainy season's monthly mean simulated values table of Ju Ren river basin in scenario 1~2.

| | 原始模拟值 | 情景 1 | | 情景 2 | | 情景 2-情景 1 | |
|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-----------|--------|
| | | 模拟值 | 变化量(%) | 模拟值 | 变化量(%) | 差值 | 变化量(%) |
| 河川径流量 | 0.31 | 0.29 | -4.15 | 0.26 | -15.15 | -0.03 | -11.48 |
| 产水量 | 49.26 | 48.18 | -2.19 | 41.98 | -14.78 | -6.20 | -12.87 |
| 根部入渗量 | 31.27 | 24.43 | -21.90 | 24.48 | -21.72 | +0.05 | +0.22 |
| 实际蒸发 | 70.81 | 77.23 | +9.07 | 85.35 | +20.55 | +8.13 | +10.52 |
| 地表径流量 | 26.87 | 29.94 | +11.42 | 23.06 | -14.17 | -6.88 | -22.97 |

表 4~5 中,情景 1、2 中实际蒸发均出现上升,两者变化的内在生态意义不同,情景 1 是地表蒸发强度变大,而情景 2 是植物生理作用强度变大.情景 1、2 的根部入渗量均减少,情景 1 是地表硬化导致,情景 2 是森林和情景 1 入渗减少的综合作用.虽然森林在一定程度上可以改良地下水循环,但全年水平 5.11% 和丰水期 0.22% 的改变量,表明这种修复效果十分有限.总体而言,流域模拟数据表明在下游进行生态补偿是有效可行的.

4 结论

本文基于生态水文响应模拟,提出了针对大型工程项目生态保护规划的科学性评估的新思路,并以天府国际机场建设为例进行了初步尝试,从方法论层面将 SWAT 模型引入大型工程项目的生态水

文响应模拟研究.研究结合模型数据,定量分析了天府国际机场“建设破坏”和“下游修复”两种情景对举人河流域生态水文的影响,得出以下认识:

1) 大型工程项目低影响开发与生态保护可以通过生态水文结合起来,以生态水文模拟为支撑的规划思想是可行的;

2) 依托 SWAT 模型的情景把握,规划生态保护的布局、要素组成、低影响开发措施以及进一步的方案设计,可以作为大型工程项目规划设计方法论,有必要进一步深入研究;

3) 天府国际机场的建设将显著增加建设区及周边区域地表径流和蒸发量,减弱地下水的补给,对流域生态水文造成破坏,在丰水期影响更加明显;

4) 增加举人河下游的森林覆盖率将有效减弱

机场建设带来的地表径流,减少丰水期洪灾的风险,在地下水补给、区域保水方面也有一定的修复作用。

研究虽然考虑了机场建设中整体地形、河网、土地类型的变化,但没有结合子流域本身的生态基底制定差异性的保护措施,所以生态保护情景模拟总体是粗略的。通过获取单个子流域的实测基底数据,制定更具针对性的保护措施,结合 SWAT 模型的情景模拟将是进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] 王武坤,邱媛.高速公路建设项目的边坡绿化和生态防护措施探讨[J].科技创新导报,2008,25:127.
- [2] 劳万丽.浅谈建设高原环保生态机场的植被恢复及绿化景观技术[J].中国高新技术企业,2014,33:88.
- [3] 张华,韩广轩,王德,等.基于生态工程的海岸带全球变化适应性防护策略[J].地球科学进展,2015,30:996.
- [4] 王凯,高照良.高速公路边坡生态防护技术的分析——以十天线鄂陕界至安康段高速公路为例[J].生态经济,2015,31:155.
- [5] 周放,余丽江.机场建设项目环评中鸟类保护探析[J].环境影响评价,2014,2:22.
- [6] 李玲,李强,徐振军.南昌昌北国际机场雨水调蓄池设计探讨[J].给水排水,2014,40:82.
- [7] 葛惟江,宋肖肖.路海峰海绵机场建设的实践——以北京新机场为例[J].中国勘察设计,2015,7:56.
- [8] 陈祥义,肖文发,黄志霖,等.空间数据对分布式水文模型 SWAT 流域水文模拟精度的影响[J].中国水土保持科学,2016,14:138.
- [9] 白淑英,王莉,史建桥,等.基于 SWAT 模型的开都河流域径流模拟[J].干旱区资源与环境,2013,27:79.
- [10] 翟玥,尚晓,沈剑,等. SWAT 模型在洱海流域面源污染评价中的应用[J].环境科学研究,2012,25:666.
- [11] 李其峰,苏飞. SWAT 模型在径流模拟中的研究进展[J].安徽农业科学,2013,41:9871.
- [12] 罗巧,王克林,王勤学.基于 SWAT 模型的湘江流域土地利用变化情景的径流模拟研究[J].中国生态农业学报,2011,19:1431.
- [13] 苏扬,张展羽,孔莉莉,等.清漳河流域土地利用方式变化对径流的影响研究[J].中国农村水利水电,2015,5:35.
- [14] 姜晓峰,王立,马放,等. SWAT 模型土壤数据库的本土化构建方法研究[J].中国给水排水,2014,30:135.
- [15] Ye M S, Guan W B, Wu B, *et al.* Plant community complexity in the arid valley of Minjiang River in southwestern China [J]. Acta Ecol Sin, 2006, 26: 3159.
- [16] Moriasi D N, Arnold J G, van Liew M W, *et al.* Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations[J]. Trans ASABE, 2007, 50: 885.
- [17] 樊琨,马孝义,李忠娟,等. SWAT 模型参数校准方法对比研究[J].中国农村水利水电,2015,4:77.
- [18] 黄泽钧.关于城市内涝灾害问题与对策的思考[J].水科学与工程学报,2012,1:7.
- [19] 王紫雯,程伟平.城市水涝灾害的生态机理分析和思考——以杭州市为主要研究对象[J].浙江大学学报工学版,2002,36:112.
- [20] 石健,郭小平,孙艳红,等.森林植被对径流形成机制的影响[J].水土保持应用技术,2006,2:5.
- [21] 邓慧平.森林对流域蒸发和径流影响的动态模拟[J].水资源与水工程学报,2012,23:61.
- [22] 余新晓,赵玉涛,张志强,等.长江上游亚高山暗针叶林土壤水分入渗特征研究[J].应用生态学报,2003,14:15.