

SWAT模型下基于DEM的水文响应单元划分——以濂水流域为例

李志强,朱超霞,刘贵花

(江西师范大学地理与环境学院,江西 南昌 330022)

摘要:本文在SWAT模型的基础上,以赣江上游濂水流域为研究区域,设计了中小流域水文响应单元的划分方法.研究以DEM数据为基础,利用TM影像和Google Earth的矢量化数据为参考,采用适度指数法模拟出符合濂水流域的函数拟合,确定河网划分阈值,保障河网划分的准确度.结合土地利用数据、土壤数据和坡度数据将濂水流域划分为49个子流域和181个水文响应单元.通过对濂水流域水文响应单元的划分,避免了人为经验生成河网而导致子流域和水文响应单元划分的不准确性,为濂水及赣江上游子流域的分布式模型模拟提供参考.

关键词:SWAT模型;濂水流域;水文响应单元划分;适度指数法

中图分类号:TV12 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-4701(2017)06-0438-05

0 引言

水文响应单元(Hru)是根据流域内土壤、坡度、植被等因素划分的具有相同水文特性的最小水文单元^[1],基于水文响应单元的研究方法可在水资源的合理调配^[2],环境风险评估^[3]等领域起着重要作用.水文响应单元也是分布式水文模型的关键一环,其精度将决定模型模拟的准确性和适用性^[4],误差较大的水文响应单元划分将导致模拟精度不高,甚至模拟失败.

划分水文响应单元是在子流域的基础上进行的,而大尺度下容错率高,容易得到较好的结果,但在中小尺度下,水文响应单元的划分对数据精度有较高的要求^[5],因而难度较大.传统方法下子流域和河网划分的阈值主要以人为经验设定^[6],难免导致河网划分过细或不足影响研究精度,而适度指数法在河网划分过程中将阈值与对应生成的河网做函数拟合,得出精度较高的河网划分结果.

濂水是鄱阳湖流域内赣江上游的重要水系.目前,濂水流域的水文模型研究比较缺少,但濂水流域的研究对赣江上游水文效应起着一定的支持和深入的作用.故本文选取濂水流域作为研究对象,将SWAT模型与适度指数法相结合对濂水进行水文响应单元的划分,为

今后濂水流域的模型模拟研究和水文过程研究提供依据,并对中小流域水文响应单元划分提出一种有效的方法.

1 研究区概况

濂水是赣江上游左岸支流,又名梅林江、安远江、濂江,发源于安远县的欣山镇鸦鹰排,流经安远、会昌、于都3县,在会昌县庄口镇汇入贡江,经贡江流入赣江,主河道长133 km,流域面积约2 300 km²,形状大致呈菱形^[7],如图1所示.

流域内包含耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地6种土地利用类型,耕地以水田为主.流域内主要土壤类型为:红壤(64.4%)、黄红壤(18.25%)和潜育水稻土(13.24%).经济作物主要包括烟叶、茶叶和西瓜等.

2 数据与方法

2.1 数据预处理

(1) DEM数据预处理

DEM数据源自地理空间数据云的ASTER GDEM V2数据,该数据是由日本的METI和美国NASA联合研制

收稿日期:2017-08-09

项目来源:国家自然科学基金项目(41501026);江西省教育厅科学基金(GJJ160321).

作者简介:李志强(1991-),男,硕士在读.

并免费向公众分发,分辨率为 30 m,数据类型为 tiff 格式,通过 ENVI 软件进行拼接矫正,并运用 ArcGIS 定义投影。

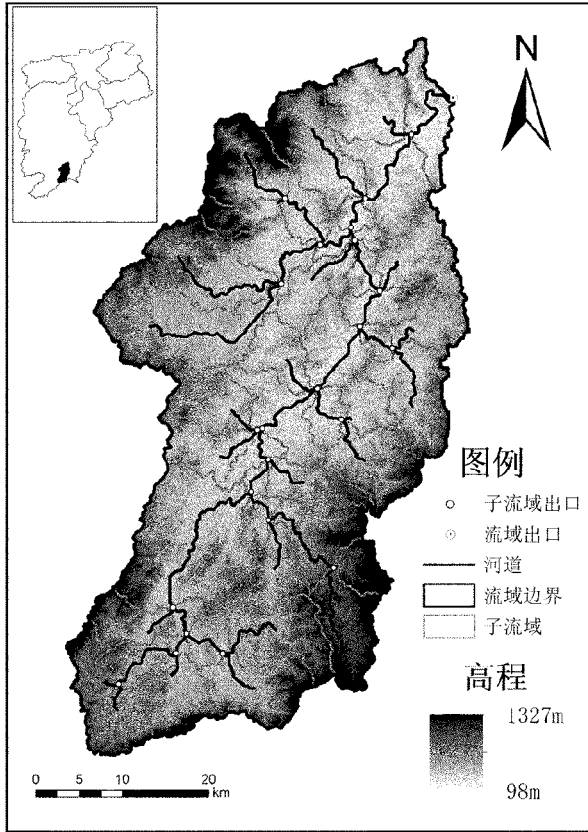


图 1 濂水流域位置

(2) 土地利用数据

土地利用数据源自秋季无云 TM 影像经目视解译生成,共划分为 6 大基本土地利用类型,包括耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地。土地利用类型所占比例对水文响应单元划分有较大的影响,因未利用土地所占比例较少故将其与建设用地划归为同种土地利用类型,得出结果见表 1。

表 1 濂水流域土地利用类型

地类	面积/km ²	所占比例/%	SWAT 代码
耕地	296.01	12.87	AGRL
林地	1 947.41	84.67	FRST
草地	34.04	1.48	PAST
水域	4.14	0.18	WATR
建设用地	17.94	0.79	URHD
未利用土地	0.23	0.01	URHD

(3) 土壤数据

采用江西省 1: 50 万的土壤数据,共包含 24 种主要的土壤类型,其中濂水流域占了 6 种。目前国际主流土壤质地分类标准包含国际制、卡庆斯基制和美国制,江西省 1: 50 万土壤数据采用的是国际制土壤质地标准,其与 SWAT 模型所采用的美国制不同,故依照 SWAT 模型的建模标准,将江西省 1: 50 万的土壤数据转换为适用 SWAT 模型美国制,并建立濂水流域的土壤数据库,得出结果见表 2。

表 2 濂水流域土壤类型

土壤名	SWAT 代码	百分比/%
红壤	HR	64.40
黄红壤	HHR	18.25
黄壤	HR	2.93
中性紫色土	ZXZST	0.04
潯育水稻土	ZYS DT	1.14
潜育水稻土	QYS DT	13.24

2.2 模型构建

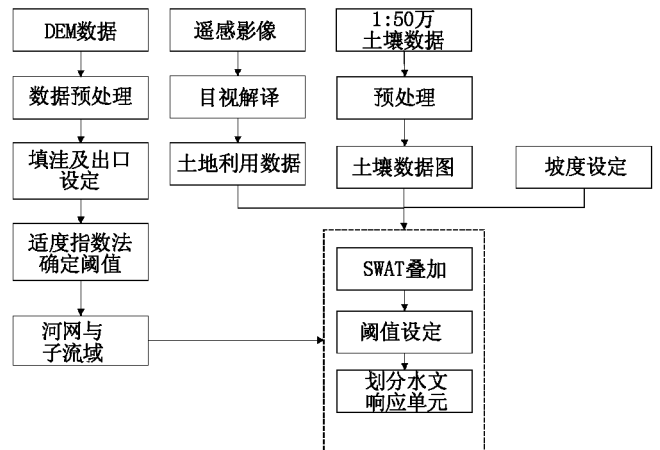


图 2 Hru 划分技术路线图

图 2 展示了濂水流域 Hru 划分的技术路线。较高精度的 DEM 数据、土地利用数据和土壤数据是分布式模型的基础数据,也是 SWAT 模型划分水文响应单元的主要数据来源。计算机依据 DEM 的数据高程差,设定水流的流向和出口点可划分为流域的大致河网和若干子流域,结合实际研究区域的 TM 影像和 Google Earth 矢量化的河网数据,利用适度指数法来提高流域

的河网精度,从而划分较为准确的子流域。依据处理好的土地利用数据、土壤数据与坡度数据,利用 SWAT 模型中的“HRU Definition”工具归并所占比例较小的土地利用数据和土壤数据,从而得出较高精度流域范围内的水文响应单元。

3 子流域与水文响应单元生成

3.1 流域的边界划分

(1) 明确水流方向

水流方向的确定是 SWAT 模型流域出口点设定的前提条件,本文参考《中国河湖大典》的相关资料并运用 ArcToolbox 工具中的水文分析模块(Hydrology Model)确定流域的水流方向。

(2) 填洼区域

由于 DEM 数据并不均匀分布,存在因周边像元过高产生不合理的凹陷点而带来基础数据的误差,故将不合理的凹陷点填充至合理值。ArcGIS 的 DEM 洼填非常消耗计算机资源,可通过 Python 等软件编写优化算法进行 DEM 的洼填,也可依据 SWAT 模型的洼填工具处理凹陷点。

(3) 流域边界划分

精确的流域边界划分需以粗略的流域区域为基础,而实际流域范围未知,故粗略的流域区域应对比实际流域范围要大。若有数字化的研究区域,可通过 Select from map 或 Load from disk 来导入 SWAT 模型中,SWAT 模型会将数字化的流域作为参考,通过 DEM 数据划分流域边界,可达到更高的精度。若没有数字化的流域区域数据,可以借助 Google Earth 软件参考流域所在的位置,通过 Manually Delineate 工具划分粗略流域区域,经流域出水口的设定,SWAT 模型将实际需研究的流域区域提取出来。

3.2 子流域的生成

(1) 流域出水口的选取

SWAT 模型的子流域划分要求设定流域的出水口,阈值选取的流域出水口一般是流域与下游干流的交汇处,不利于实际子流域的划分,利用“Delineate Watershed”工具在阈值出水口略上方的位置人工添加点源数据作为实际出水口将更合理。

(2) 计算子流域参数

SWAT 模型依据输入的阈值将 DEM 数据划分为若干个子流域。传统确定河网阈值的方法主要通过多次试错的方式使生成的河网与实际河网做相应的比对,这

种方法耗时较多且精度不高,容易受到人为因素的影响。相关研究表明,适度指数法能较好的选定河网划分的阈值取值^[8,9],本文采用适度指数法,通过将计算模拟生成河网的不足长度和多余长度与 TM 影像及 Google Earth 矢量化的实际河网做比较从而计算出适应濂水流域的河网阈值。适度指数公式如下:

$$F = \sum_{s=1}^n (L_i)_s + \sum_{s=1}^n (L_r)_s$$

式中: L_i 为缺失河段长度; L_r 为多出河段长度; L_T 为河网总长度; n 为缺失或多出的河段总数; S 为缺失或多出的河段。依据 TM 影像和 Google Earth 矢量化的实际河网长度,通过多个阈值的设定得出相应的 F 值,并将设定阈值与 F 值做函数拟合得出图 3 所示结果,发现阈值设定在面积为 2 700 hm^2 的位置时适度指数最合理,故将面积为 2 700 hm^2 作为濂水流域的河网划分及子流域生成的最佳阈值,将濂水流域划分为 49 个子流域,得出结果见图 1。

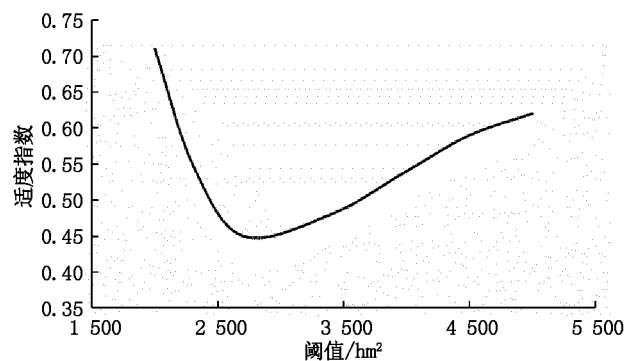


图3 河网划分适度指数分析

3.3 水文响应单元的生成

水文响应单元是水文模型中最小的特征单元,在 SWAT 模型中,以土地利用数据,土壤数据和坡度数据为基础将每个子流域划分为若干个水文响应单元。水文响应单元在空间分布上是离散的,在划分时要为土地利用数据、土壤数据和坡度数据设定一定的阈值,通过阈值设定,将较小的斑块归并到周围比较大的响应单元上。

(1) 土地利用、土壤和坡度数据叠加

濂水流域土地利用数据包括耕地、林地、草地、水域及建设用地和未利用土地 6 大类,土壤数据包括了红壤、黄红壤、黄壤、棕性紫色土、潜育水稻土和潜育水稻土 6 个种类,并将土壤质地通过 Matlab 软件运用三次样条插值法将原始的国际制数据转换为 SWAT 模型所

要求的美国制^[10,11]。濂水流域位于山地,坡度划分依据 SWAT2009 手册的参考建议设定。通过定义相同的地理坐标,利用 HRU Analysis 工具中的 Land Use/Soils/Slope Definition 来叠加输入数据。

(2) 水文响应单元的划分

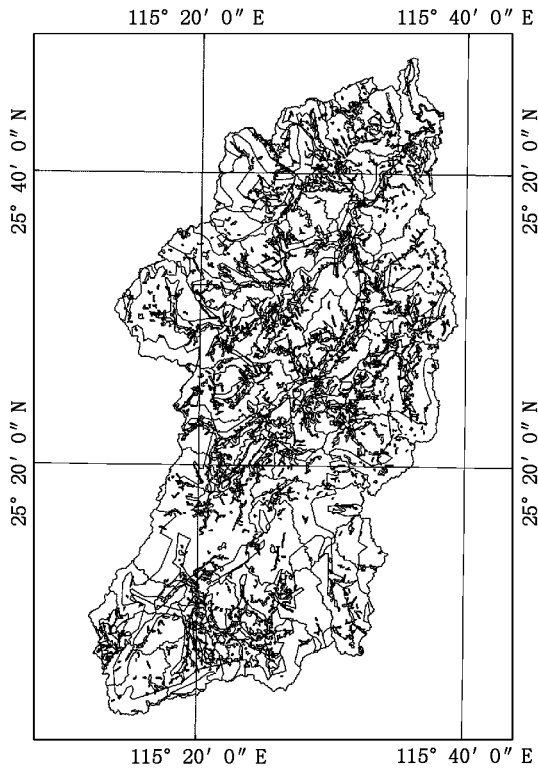


图 4 濂水流域水文响应单元分布

表 3 HRU 划分后濂水流域土地利用和土壤类型分布

	面积/km ²	百分比/%	数量
耕地/红壤	175.43	7.50	36
耕地/黄红壤	2.74	0.12	2
耕地/中性紫色土	7.04	0.30	4
耕地/潯育水稻土	72.93	3.12	32
林地/红壤	1 388.33	59.33	46
林地/黄红壤	441.10	18.85	21
林地/黄壤	53.40	2.28	5
林地/中性紫色土	17.44	0.75	4
林地/潯育水稻土	181.50	7.76	29
建设用地/红壤	0.04	0.01	1
建设用地/潯育水稻土	0.05	0.01	1
总计	2 339	100	181

水文响应单元的阈值设定决定了划分水文响应单元的斑块数量和精细程度,根据肖军仓等^[12]的研究,在

鄱阳湖流域内,土地利用、土壤、坡度数据均以 10% 比较合适。SWAT 模型依据设定阈值对较小斑块进行归并操作,将濂水流域划分了 181 个水文响应单元,详见图 4 及表 3。

4 结 论

(1) 本文利用 SWAT 模型,借助 ArcGIS 软件将濂水流域划分为 49 个子流域和 181 个水文响应单元,每个水文响应单元只包含单一的土地利用类型和土壤类型,这种组合方式有利于在较小尺度上进行水文过程研究,为分布式水文模型提供数据支持。

(2) 模型的子流域划分是以较高精度的河网划分为基础,而河网的划分则采用了适度指数法,通过模拟阈值的设定来拟合相应的函数,避免因人为经验选取阈值划分河网带来的误差。

(3) 水文响应单元的划分是在精确的子流域划分前提下依据土地利用数据、土壤数据和坡度数据来确定的,其中土壤数据和坡度数据在短时间内无较大变化,但土地利用数据随着人类活动的影响和自然生态的演替变化较大,故在水文响应单元划分过程中可以选取多个时期的土地利用数据来划分不同时期的水文响应单元,以便后期工作更好的开展。

参考文献:

- [1] 张鸿. 汤浦水库周边林地枯落物对水库水质的影响[D]. 浙江大学, 2014.
- [2] 程彦培, 易卿, 张健康等. 基于水文响应单元的高标准农田水资源供需分析——以黄骅市为例[J]. 南水北调与水利科技, 2013(01): 29~33+43.
- [3] 章光新, 邓伟, 何岩, 等. 水文响应单元法在盐渍化风险评价中的应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2005(03): 356~360.
- [4] 赵霞. 黄土沟壑区水文响应单元选取对 AnnAGNPS 模型模拟精度的影响[D]. 中国农业大学, 2006.
- [5] 曾红伟, 李丽娟, 柳玉梅, 等. Arc Hydro Tools 及多源 DEM 提取河网与精度分析——以洮儿河流域为例[J]. 地球信息科学学报, 2011(01): 22~31.
- [6] 张峰, 廖彦红, 雷晓辉, 等. 分布式水文模型子流域划分方法[J]. 南水北调与水利科技, 2011(03): 101~105.
- [7] 《中国河湖大典》编纂委员会. 中国河湖大典 长江卷(下)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010. 1.
- [8] 吴秦兵, 夏达忠, 张行南. 基于改进适度指数法的流域流水网阈值确定研究[J]. 水电能源科学, 2011(04): 18~20.
- [9] 方园皓, 张行南, 夏达忠. 基于 TOPMODEL 的流域水文模拟研究[J]. 水电能源科学, 2011(06): 14~17.
- [10] 许小勇, 钟太勇. 三次样条插值函数的构造与 Matlab 实现[J]. 兵工

自动化,2006(11):76~78.

[M].北京:地质出版社,2010.

[11] 蔡永明,张科利,李双才.不同粒径制间土壤质地资料的转换问题研究[J].土壤学报,2003(04):511~517.

编辑:张绍付

[12] 肖军仓,周文斌,等.非点源污染模型——SWAT用户应用指南

Hydrological response unit division based on DEM in SWAT Model: A case study of Lian River Basin

LI Zhiqiang, ZHU Chaoxia, LIU Guihua

(Jiangxi Normal University, School of Geography and Environment, Nanchang 330022, China)

Abstract: Based on the SWAT model, this paper designs the method of hydrological response unit in the middle and small watersheds based on the Lian River Basin in the upper reaches of the Gan River. Based on the DEM data, using the vector data of TM image and Google Earth as reference, the modal exponential method is used to simulate the fitting of the hydrological basin, and the threshold of river network is determined to ensure the accuracy of river network division. The Lian River Basin is divided into 49 sub-basins and 181 hydrological response units in combination with land use data, soil data and slope data. Based on the division of the hydrological response unit of the Lian River Basin, the inaccuracy of the sub-basin and the hydrological response unit is induced by the artificial experience of the river network, which provides a reference for the simulation of the distributed model of the sub-basin in the upper reaches of the Lian River and the Gan River.

Key words: SWAT model; Lianshui Basin; Hydrological response unit division; Moderate index method

翻译:李志强

(上接第415页)

The discussion on water temperature impact prediction and stratified water intake structure of Huaqiao reservoir

HU Xihong¹, HUANG Ying²

(1. Jiangxi Provincial Water Conservancy Planning and Designing Research Institute, Nanchang 330029, China;

Jiangxi Provincial Hydraulic Engineering Structures Engineering Technology Center, Nanchang 330029, China;

2. Jiangxi Provincial Institute of Environment Protection, Nanchang 330039, China)

Abstract: Taking Huaqiao reservoir as an example, according to the vertical distribution of water temperature and the typical month with large temperature difference. According to irrigation crop types under the dam, the necessity of multi-level intake structure is analyzed, getting water intake range of each layer. And provide the scientific basis for the engineering design. Combined with the engineering arrangement, the influence of the tail water temperature on the ecological environment of the downstream water is analyzed.

Key words: Water temperature stratification; Irrigation; Multi-level intake structure; Water ecology.

翻译:郭庆冰