

澱水流域产水产沙自然过程的计算机模拟*

I. 数学模型体系与参数输入

曾志远[†] 潘贤章² 李 硕¹

(1 南京师范大学地理科学学院, 南京 210097)

(2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要 使用流域尺度土壤和水资源管理模拟模型 SWRRB(包括 198 个数学方程), 对面积为 579.3 km² 的江西澱水河流域的产水量、产沙量等自然过程进行了计算机模拟, 获得了较好的模拟结果。模拟成功的关键是: (1) 将流域划分为多个亚区; (2) 精心而周到地准备输入参数; (3) 按各输入参数对各输出参数影响大小的顺序进行充分的实验和参数调整以达最佳结果。文中对亚区划分和地形要素、气温、降雨、土壤特性和径流曲线系数的赋值给予了较多的注意。

关键词 流域模拟; SWRRB 模型; 产水量; 产沙量; 土壤资源

中图分类号 P962/7.514

文献标识码 A

产水量和产沙量的定量化估算是流域研究的中心之一。而流域定量化又是自然地理过程量化的有效途径。但由于其因素和过程都极为复杂, 定量化十分困难。

可喜的是近 50 年来人们在自然地理要素和过程的定量化研究方面取得了巨大进展。主要体现在: (1) 遥感(RS); (2) 地理信息系统(GIS); (3) 全球定位系统(GPS); (4) 数学建模(Mathematic Modelling in Geoscience, MM); (5) 计算机模拟(Computer Simulation in Geoscience, CS); (6) 数字地球(DE)。后者是近几年才提出的概念^[1,2]。

上述技术大大加快了地理过程定量化进程。美国近十余年来先后发表了流域模拟的 SWRRB 和 SWAT 模型^[3,4]; 我们及时进行了这方面的研究。20 世纪 90 年代初开始, 在欧共体(现欧盟)资助(Marie Curie Research Bursary: B/ CIF-923262)之下, 用 SWRRB 模型在西班牙的提巴(Teba)河流域开始了流域自然过程的计算机模拟研究^[5-7]。90 年代中开始, 又在国家自然科学基金 49571035 和 40071043 支持下, 在江西省南部澱水河流域先后用 SWRRB 和 SWAT 模型, 进行了流域模拟研究^[8-12]。

本文介绍用 SWRRB 模型在澱水流域进行的研究。

1 模型和研究区

1.1 SWRRB 模型

它是由乡村流域水资源模拟者^[13]发展而来的流域尺度土壤和水资源管理模拟模型^[3], 是由 198 个方程构成的集成和系统化的庞大模型体系。通过这些方程把诸如气候、气象、水文、地形、土壤、植被、人类经济活动等大多数地理因素和许多有关的地理过程联系起来。模拟对象已不限于小流域和水资源, 而是完全可用于较大流域和水土资源综合研究, 并通过土壤和水又可将生物、岩石、大气等联系起来, 构成研究地理因素与过程的统一体系。模型的输入项目包括几乎所有地理要素, 如气候气象、水文、地形、植被、土壤、人类经济活动等。气候气象中又有气温、降雨、辐射等, 降雨中又有日降雨、暴雨频率、湿日后干日的概率、干日后湿日的概率, 等等。土壤一项中则有土壤类型、分层、土层深度、土层厚度、粉砂和粘粒含量、土壤水分、饱和导水率、田间持水量等。输入项目总计约有 120 余项。有些项目还要按亚区(Subarea)、亚流域(Subbasin)或按日输入, 总计就更多了。

* 国家自然科学基金课题(49571035)资助

† 通讯作者

作者简介: 曾志远(1940~), 男, 湖北郧县人, 研究员, 主要从事遥感图像处理 and 过程计算机模拟

收稿日期: 2005-12-10; 收到修改稿日期: 2005-12-30

模型输出包括地表径流、地下径流、产水量、产沙量、渗漏损失、转输损失、土壤水分、蒸发量、生物量、洪峰量、洪峰频率等。各项目可按年、月、日输出,也可分亚区输出。因此,可实现准连续时间的动态监测,并说明其空间分布。

模拟在普通计算机上即可实现。也可使用某种遥感图像处理 and 地理信息系统软件。本研究使用了遥感和 GIS 集成的土地资源和水资源一体化信息系统 ILWIS 系统^[14]。

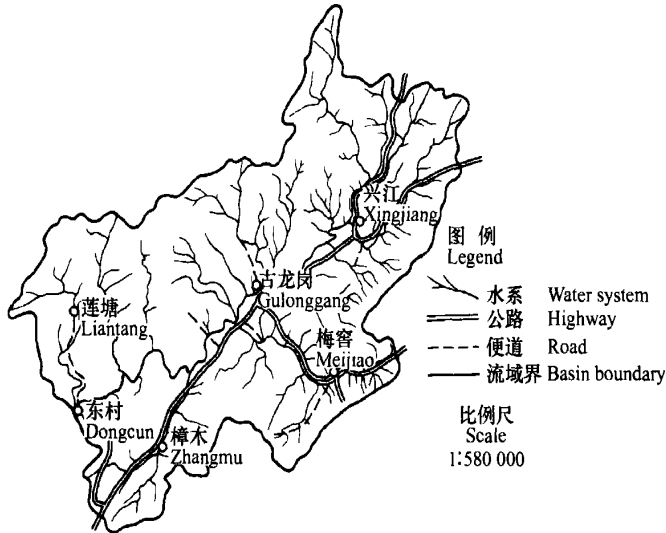


图 1 湫水河流域水系、道路和居民点分布图

Fig. 1 River system, road system and settlements in the Lianshui Basin

母岩和母质主要是花岗岩和第四纪沉积物,局部有千枚岩和石灰岩。土壤主要是水稻土、棕红壤,局部有红壤、黄红壤、石灰岩土等。这些土壤的地方名称则有红砂土、白砂土、灰砂土、灰红土、红壤土等^[1]。

气候为亚热带季风湿润气候。夏季高温多雨。据兴国县城气象站的资料,7月均温 29.3℃,1月均温 7.2℃,年均温 18.9℃。多年平均降雨量 1500 mm。4~6月降雨最多。

植被为常绿阔叶林和针叶林。以马尾松林为主,尚有部分由木荷、栲、栎、樟组成的阔叶林。但多为次生林,天然林破坏严重。人工林主要是油茶林。灌草类有铁芒箕、映山红、野枯草、白茅、巴茅等。农地中稻田约占 90%。旱地很少,有红薯、油菜等。

2 模型参数输入研究

模型需要大量输入参数数据;但本流域实测数

1.2 研究区

位于江西省兴国县境内的湫水河流域(图 1),面积 579.3 km²。地势东北高而西南低。最高峰为其东北边境上的宝华山,海拔 1157 m。西南端长岗水库库尾的东村水文站为控制流域的出口,此处河床高程 192 m。流域最大高差 965 m。流域内低丘约占 40%,高丘和低山约占 50%,河谷平原约占 10%。

据很少,大部分都需估计。这要依靠模拟者的地学知识、对研究区的了解并利用 GIS、遥感、数学建模等现代技术来解决。

2.1 流域亚区划分

模型要求对地理上不均匀的流域划分为若干亚区,分别输入参数。

亚区(Subarea)可以根据土壤、土地利用、植被、地形、温度、降雨等等因素来划分;但亚区界线划在何处并无限制,只不过每个亚区中应包括一个河段(Channel reach)^[3]。由此义和设计者的例子^[3]来看,亚区划分是粗略的,界线是大概的,而且也不完全是区域概念(一个亚区可以被另一个隔开)。本研究中的亚区划分,参照地形和数字高程模型、TM 彩色合成图像和非监督分类图及实地考察等。

数字高程模型(图 2)由 1:10 万比例尺地形图数字化,又经矢量—栅格转换等处理而成,且已转换

(1) 兴国县土壤普查办公室. 兴国县土壤. 1983 1~6, 94~101

为字节(Byte)形式,便于与遥感图像进行合并处理。

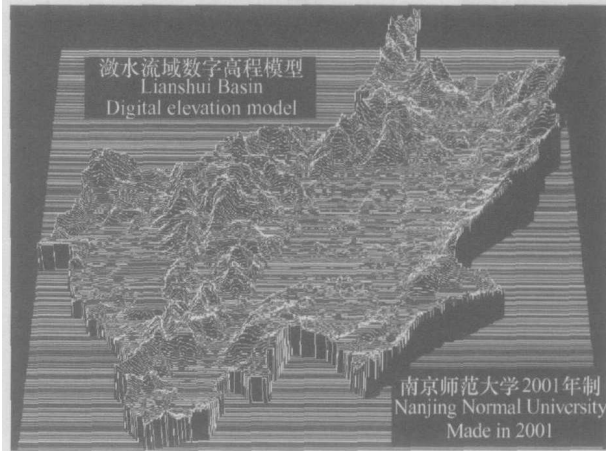


图2 激水河流域数字高程模型

Fig 2 Digital elevation model of the Lianshui Basin

TM 图像是 1991 年 10 月 9 日的,进行了彩色合成和非监督分类,计算了各类的植被指数 NVI,按 NVI 数值由大到小即植被密度由大到小的顺序和其自然群聚,将植被分为密、中密、稀疏、极稀疏、裸露等 5 组(表 1)。

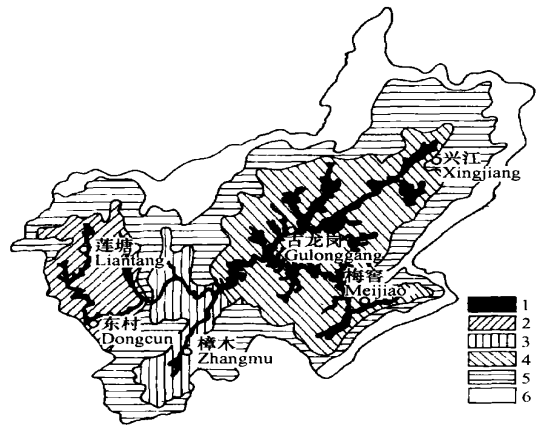
表 1 非监督分类各类的植被指数 NVI 值

Table 1 Normalized Vegetation Index NVI values of classes in the unsupervised classification

序号 Serial number	NVI	类号 Class number	植被密度 Vegetation denseness	面积 Area (%)
1	0.48	(5)	密 Dense	18.17
2	0.43	(3)	密 Dense	
3	0.37	(1)	中密 Medium dense	39.12
4	0.35	(15)	中密 Medium dense	
5	0.34	(10)	中密 Medium dense	
6	0.33	(2)	中密 Medium dense	
7	0.32	(4)	中密 Medium dense	
8	0.29	(6)	中密 Medium dense	
9	0.18	(7)	稀疏 Sparse	23.35
10	0.18	(8)	稀疏 Sparse	
11	0.15	(9)	稀疏 Sparse	
12	0.10	(12)	极稀疏 Very sparse	14.55
13	0.08	(17) ¹⁾	极稀疏 Very sparse	
14	0.05	(13)	极稀疏 Very sparse	
15	0.03	(11)	极稀疏 Very sparse	
16	0.00	(16)	裸露 Bare	4.81
17	-0.02	(14)	裸露 Bare	
18	-0.03	(18)	裸露 Bare	
19	-0.04	(19)	裸露 Bare	

1) 此类为云,其 NVI=0.08。但云下为密植被。其面积百分比为 0.09%,面积统计时归入密植被

从彩色合成图像和分类图上植被密度分布来看,明显可分出密植被区、中密植被区和稀疏-裸露植被区。前二者可各作为一个亚区;而后者又可据地形图和数字高程模型分为河谷低平区和低丘区。河谷低平区可作为一个亚区。低丘区又可分为三个盆地,每个盆地可作一个区。因此流域共分为 6 个亚区:(1)河谷低平区;(2)莲塘低丘区;(3)樟木低丘区;(4)古龙岗低丘区;(5)高丘区(中密植被);(6)低山区(密植被)。各亚区界线参照遥感图像、高程模型和等高线大致画定(图 3)。



- 1- 河谷低平区 Low and flat valley subarea
- 2- 莲塘低丘区 Liantang low hills subarea
- 3- 樟木低丘区 Zhangmu low hills subarea
- 4- 古龙岗低丘区 Gulonggang low hills subarea
- 5- 高丘区 High hills area
- 6- 低山区 Low mountains area

图 3 激水河流域亚区分布图

Fig 3 Subarea distribution in the Lianshui Basin

2.2 流域地形和水系参数

流域外赋值 0,流域内各亚区分别赋以 1、2、3、4、5、6。然后对此矢量图栅格化,取像元大小为 25 m × 25 m,全图 1 441 行 × 1 441 列。再后计算图像直方图,可求得全流域面积和各亚区面积。

将整数形式的栅格化数字高程图和栅格形式的亚区图进行交叉运算(Crossing),得到交叉表(Crossing table)。再进行合计运算(Aggregation)或表运算(Table calculation)中的分类表(Classify table),可求得各亚区的平均高程。将数字高程模型用下述两个方向滤波器(Directional filter)滤波:

1 0 - 1 - 1 - 2 - 1
 2 0 - 2 和 0 0 0
 1 0 - 1 1 2 1

滤波时, 增益(Gain)取 0.125, 偏移(Offset)取 0.000。这样可得到图像各像元在东西方向上的坡度 dh_y 和在南北方向上的坡度 dh_x 。用勾股定理开平方, 即可得到每个像元的综合坡度值。再将此坡度图与亚区图进行交叉运算或分类表运算, 可得各亚区平均坡度。

使用地理信息系统网络分析功能, 对河流进行连通性分析, 建立河流的网络结构, 可方便查询河流流向和每段河道的长度。将栅格化的亚区图作为背景图显示, 再叠加河流网络数字化图, 分别点取各亚区主河道的各线段, 得到它们的长度, 累加起来即得各亚区的主河道长度。用同样的方法先算得各亚区的主要河道长度, 再从高程图上查得各河段道两端的高程, 即可得各主要河道的坡度。然后求平均值即得各亚区平均河道坡度。各项计算结果见表 2。

表 2 各亚区面积、面积百分数、平均高程、平均坡度、主河道长度和主河道坡度

Table 2 Area, area in percentage, mean elevation, mean slope, length and slope of main river channels of the subareas in the Lianshui Basin

亚区 Subarea	面积 Area (km ²)	面积 Area (%)	平均高程 Mean elevation (m)	平均坡度 Mean slope (m m ⁻¹)	主河道 长度 Main channel length (km)	主河道 坡度 Main channel slope (m m ⁻¹)
1	43.05	7.43	268.4	0.084	40.30	0.003
2	46.93	8.10	287.9	0.117	3.11	0.016
3	37.84	6.53	314.3	0.194	3.71	0.014
4	133.93	23.12	294.8	0.098	3.81	0.012
5	206.28	35.61	427.5	0.206	6.78	0.018
6	111.23	19.20	616.0	0.311	7.88	0.020
全区 Basin	579.26	100.0	299.0	0.203	48.09	0.016

2.3 日最高气温和日最低气温

因流域中没有气温观测数据, 故由兴国县城气象站的观测气温值 t_0 来推算。以 t_0 为基准, 由各亚区的平均高程 h_2 (数值见表 2) 与兴国县城高程 h_1 (130.0 m) 的差 $\Delta h = h_2 - h_1$ (m), 计算各亚区的平均气温。气温随高程的递减率, 在自由大气中约为 $-0.65\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}^{[15]}$; 在距研究区不远的井岗山山区, 平均递减率为 $-0.56\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}^{[16]}$ 。我们采用后

者。于是各亚区温度校正值 Δt ($^\circ\text{C}$) 的计算式为 $\Delta t = 0.0056 \times \Delta h$ 。计算结果如表 3。

表 3 各亚区温度校正值

Table 3 Temperature correctors for the subareas

亚区 Subarea	平均高程 Mean elevation h_2 (m)	与兴国县城 的高差 Difference in elevation from Xingguo city Δh (m)	温度校正值 Temperature corrector Δt ($^\circ\text{C}$)
1. 河谷低平区 Valley lowland	268.4	138.4	-0.78
2. 莲塘低丘区 Low hills area I	287.9	157.9	-0.88
3. 樟木低丘区 Low hills area II	314.3	184.3	-1.03
4. 古龙岗低丘区 Low hills area III	294.8	164.8	-0.92
5. 高丘低山区 High hills	427.5	297.5	-1.67
6. 低山区 Low mountains	616.0	486.0	-2.72

2.4 日降雨量

流域模拟时间间隔为 1993 年 1 月 1 日至 1995 年 12 月 31 日。在此期间只有古龙岗、莲塘和东村三个观测站有每日降雨值。故以此三站的观测值为基准进行各亚区雨量校正。先要确定本地区降雨随高程的变化规律。因东村、莲塘、古龙岗三站高度范围太小(198~240 m), 故附加采用了也处在流域内的樟木、梅窖、兴江三站(海拔 260~320 m)和处在流域外的兴国县城站(海拔 130 m)的降雨数据。各站数据均在 1991~1995 年间。以上述 7 个站各自的雨量平均值为 y_i , 以它们各自的高程值为 x_i , 得到雨量与高程关系的回归方程:

$$\hat{y} = 1.264.90 + 1.4648x \quad (r = 0.863)$$

(式中 \hat{y} 是 y 的估计)

由表 4 可见, 回归方程精度较高。4 个站的估计误差小于 1%。只莲塘站估计误差大一些。莲塘的高程比东村高, 但观测雨量却比东村低; 因莲塘站实带雨影区的性质(据地形图)。但这一估计误差, 在莲塘亚区使用莲塘站实测雨量来校正时, 可得到补偿。

表 5 列出了各亚区的平均高程 x 、据此高程和回归方程得到的亚区平均理论计算降雨量 y_1 、亚区代表性雨量站实测降雨量 y_2 和降雨量校正系数 y_1/y_2 。

表4 各雨量站的高程、观测雨量、估计雨量、绝对误差和相对误差

Table 4 Elevation, measured and estimated rainfall, and absolute and relative errors

雨量站 Rainfall station	高程 Elevation x_i (m)	观测雨量 Measured rainfall y_i (mm)	估计雨量 Estimated rainfall y_i (mm)	绝对误差 Absolute error Δy_i (mm)	相对误差 Relative error (%)
兴国 Xingguo	130.0	1 489.7	1 455.3	- 34.4	- 2.36
东村 Dongcun	197.6	1 565.3	1 554.3	- 11.0	- 0.71
莲塘 Liantang	230.0	1 494.9	1 601.8	106.9	6.67
古龙岗 Gulonggang	240.0	1 619.5	1 616.5	- 3.0	- 0.19
樟木 Zhangmu	260.0	1 632.2	1 645.7	13.5	0.82
梅窖 Meijiao	280.0	1 732.9	1 675.0	- 57.9	- 3.46
兴江 Xinjiang	320.0	1 747.8	1 733.6	- 14.2	- 0.82

表5 各亚区计算平均雨量、代表站实测雨量和降雨校正系数

Table 5 Calculated mean rainfall, measured rainfalls at representative stations and rainfall corrector

亚区 Subarea	平均高程 Mean elevation (m)	平均计算雨量 Mean calculated rainfall y_1	平均实测降雨量 Mean measured rainfall y_2	代表性雨量站 Rainfall station	雨量 Rainfall (mm)	降雨校正系数 Rainfall corrector y_1/y_2
1	268.4	1 658.1	古龙岗 Gulonggang	1 619.5	1.024	
2	287.9	1 686.6	莲塘 Liantang	1 494.9	1.128	
3	314.3	1 725.3	莲塘 Liantang	1 494.9	1.154	
4	294.8	1 696.7	古龙岗 Gulonggang	1 619.5	1.048	
5	427.5	1 891.1	东村 Dongcun	1 565.3	1.208	
6	616.0	2 167.2	东村 Dongcun	1 565.3	1.385	

2.5 土壤数据

土壤数据有土壤名称、层次数、可蚀性因子 K 、深度、容重、有效田间持水量、饱和透水率、颗粒组成、粘粒含量、土壤厚度(最大根系深度)等。这些值绝大多数都规定按亚区和土层赋值。文献[3]提供了一些表格来说明这些参数的参考取值。我们据此文献提示,并根据野外调查和《兴国县土壤》、遥感图像和分类图提供的信息等,分别对流域各亚区各土层赋值(表6)。

表6 各亚区各土层的土壤数据

Table 6 Soil data of various layers in the subareas

亚区、土壤名、土壤 K Subarea, soil name, K factor	土层 Layer	土层深度 Layer depth (mm)	容重 Bulk density (m^{-3})	有效田间持水量 Available water capacity ($mm\ mm^{-1}$)	饱和透水率 Saturated conductivity ($mm\ h^{-1}$)	粘粒含量 Clay content (%)	最大根系深度 Maximum rooting depth (mm)
亚区 Subarea I	1	10	1.20	0.16	40	20	
水稻土 Paddy soil ($K = 0.04$)	2	180	1.30	0.15	40	20	
	3	280	1.40	0.12	20	25	
	4	580	1.35	0.12	30	20	580
亚区 Subarea II	1	10	1.30	0.10	120	15	
红砂土 Red sandy soil ($K = 0.10$)	2	110	1.40	0.08	120	15	
	3	510	1.45	0.06	100	20	
	4	2 000	1.50	0.06	180	15	2 000
亚区 Subarea III	1	10	1.35	0.10	150	15	
灰砂土 Gray sandy soil ($K = 0.15$)	2	110	1.40	0.08	150	15	
	3	410	1.45	0.06	100	20	
	4	2 000	1.50	0.06	180	15	2 000
亚区 Subarea IV	1	10	1.45	0.06	190	5	
白沙土 White sandy soil ($K = 0.20$)	2	550	1.50	0.06	170	5	
	3	2 000	1.50	0.06	160	8	2 000
亚区 Subarea V	1	10	1.30	0.12	75	20	
灰红土 Gray red soil ($K = 0.04$)	2	110	1.35	0.10	75	20	
	3	310	1.45	0.07	25	25	
	4	800	1.50	0.07	40	20	800
亚区 Subarea VI	1	10	1.30	0.15	50	20	
红壤土 Red soil ($K = 0.03$)	2	110	1.30	0.12	50	20	
	3	260	1.40	0.10	25	25	
	4	500	1.45	0.10	40	20	500

2.6 径流曲线系数 RCN

RCN 是 Runoff Curve Number 的缩写。它是一个变换系数, 被用来对土壤持水能力 (Retention) 作一订正, 从而使径流曲线近似成一条直线^[17]。RCN 技术是美国土壤保持局 (SCS) 设计的, 用来预测地表径流^[18]。

RCN 的概念和技术这里难于作更多说明。但它在 SWRRB 模型中是一个十分重要的参数。它的确定要考虑地面覆盖与土地利用 (林地、草地、裸地、作物地、休闲地等), 植被的覆盖度 (密、中、疏等), 农业耕作方式 (顺坡耕作、等高耕作、梯田耕作等), 水文条件 (好、中、差等), 土壤渗漏能力、导水性能、持水能力等。对于后一点则规定将土壤分为 A、B、C、D 四组分别考虑^[3, 17]。文献[3]说明了各种情况下 RCN 的参考取值。取值的关键是对于地面覆盖/土地利用和土壤的了解。我们根据遥感图像处理所揭示的各亚区地面覆盖和土地利用并查阅有关土壤资料, 将亚区 1~6 的 RCN 分别确定为 81、73、73、73、70 和 58。

2.7 产水量和产沙量

产水量也叫流域总出水量。它是地表径流与地下径流的和减去传输损失所得的差^[3]。产沙量也叫固体径流量。它实际上也是流域总出沙量。这两项分别按年按月输入, 形成独立文件。它们是实测值, 不参与模拟过程, 只用来与模拟值作比较以估计模拟的精度。

模拟结果和分析见《湫水流域产水产沙自然过程的计算机模拟 II》。

参考文献

- [1] 戈尔 A L. 数字地球——21 世纪对我们星球的理解. 见: 承继成, 李琦, 易善桢编著. 国家空间信息基础设施与数字地球. 北京: 清华大学出版社, 1999. 192~ 195. Gore A L. The Digital Earth: Understanding our planet in the 21th century. In: Cheng J C, Li Q, Yi S Z. eds. National Spatial Information Infrastructure and Digital Earth (In Chinese). Beijing: Tsinghua University Press, 1999. 192~ 195
- [2] 承继成, 林琿, 周成虎, 等. 数字地球导论. 北京: 科学出版社, 2000. 1~ 10. Cheng J C, Lin H, Zhou C H, et al. Introduction to Digital Earth (In Chinese). Beijing: Science Press, 2000. 1~ 10
- [3] Arnold J G, Williams J R, Nicks A D, et al. A Basin Scale Simulation Model for Soil and Water Resources Management. Texas A & M University Press, 1990. 1~ 142, Appendix I ~ X
- [4] Neitsch S L, Arnold J G, Williams J R. Soil and Water Assessment Tool Users Manual 99. 2. 808. East Blackland Rd, Temple, Texas 76702: USDA Agriculture Research Service and Grassland Soil and Water Research Laboratory. 1999. Chapter 3, 45~ 68
- [5] 曾志远, 潘贤章. 利用遥感和地理信息系统进行流域环境模拟探讨. 遥感新发展与发展战略. 北京: 中国科学技术出版社, 1996. 200~ 204. Zeng Z Y, Pan X Z. Inquiring into basin environment simulation by RS and GIS. New Progress and Development Strategy of Remote Sensing (In Chinese). Beijing: China Science & Technology Press, 1996. 200~ 204
- [6] Zeng Z Y, Meijerink A M J. Water yield and sediment yield simulation for Teba catchment in Spain using SWRRB model: I. Model input and simulation experiment. Pedosphere, 2002, 12(1): 41~ 48
- [7] Zeng Z Y, Meijerink A M J. Water yield and sediment yield simulation for Teba catchment in Spain using SWRRB model: II. Simulation results. Pedosphere, 2002, 12(1): 49~ 58
- [8] 潘贤章, 曾志远. 遥感和信息系统技术在流域模拟中的应用. 土地资源持续利用与信息技术. 北京: 中国大地出版社, 1998. 274~ 277. Pan X Z, Zeng Z Y. Application of RS & GIS techniques to basin simulation. Sustainable Use of Land Resources and Information Technology (In Chinese). Beijing: China Geodetic Press, 1998. 274~ 277
- [9] 曾志远. 流域计算机模拟——自然地理过程的高度量化研究. 中国地理学会成立 90 周年论文集. 北京: 科学出版社, 2001. 107~ 113. Zeng Z Y. Computer basin simulation—highly quantitative study on physiographical processes. Proceedings of the 90 anniversary of China Society of Geography (In Chinese). Beijing: Science Press, 2001. 107~ 113
- [10] 曾志远, 李硕, 张运生. GIS 遥感和计算机模拟技术在西班牙和中国两个流域水土资源研究中的应用. GIS 技术在水利中的应用研讨会论文集. 南京: 河海大学出版社, 2001. 175~ 185. Zeng Z Y, Li S, Zhang Y S. Application of GIS, RS and computer simulation techniques in study of soil and water resources in two basins of China and Spain. Proceedings of Applying the GIS Technology to Water Conservancy (In Chinese). Nanjing: River & Sea University Press, 2001. 175~ 185
- [11] 李硕, 曾志远, 张运生. 数字地形分析技术在分布式水文建模中的应用. 地球科学进展, 2002, 17(5): 769~ 775. Li S, Zeng Z Y, Zhang Y S. Application of digital terrain analysis technology in the distributed hydrological modeling (In Chinese). Adv. Earth Sci., 2002, 17(5): 769~ 775
- [12] 张运生, 曾志远, 李硕. 农业非点源污染水质模型进展. 水资源研究, 2003, 24(1): 1~ 6. Zhang Y S, Zeng Z Y, Li S. Progress of water quality models for agricultural non point source pollution (In Chinese). Research on Water Resources, 2003, 24(1): 1~ 6
- [13] Williams J R, Nicks A D, Arnold J G. Simulator for Water Resources in Rural Basins. J. Hydraulic Eng., 1985. ASCE, 111(6): 970~ 986
- [14] ITC Computer Department. ILWIS 1.4 Users Manual. 1993
- [15] Peixoto J P, 等著. 吴国雄, 刘辉译. 气候物理学. 北京: 气象出版社, 1995. 10~ 12. Peixoto J P, et al. eds. Wu G X, Liu H. trans. Climatic Physics (In Chinese). Beijing: Meteorology Press, 1995. 10~ 12
- [16] 高国栋, 陆渝蓉. 气候学基础. 南京: 南京大学出版社, 1990.

- 300~ 310. Gao G D, Lu Y R. Fundamentals of Climatology (In Chinese). Nanjing: Nanjing University Press, 1990. 300~ 310
- [17] Hammer M J, *et al.* Hydrology and Quality of Water Resources. New York: John Wiley, 1981. 214~ 217
- [18] USDA Soil Conservation Service. National Engineering Handbook. 1972. Hydrology. Section 4, Chapters 4~ 10

COMPUTER SIMULATION OF WATER YIELD, SEDIMENT YIELD AND OTHER NATURAL PROCESSES IN LIANSHUI BASIN

I. MATHEMATIC MODEL SYSTEM AND PARAMETER INPUT

Zeng Zhiyuan^{1†} Pan Xianzhang² Li Shuo¹

(1 *Collage of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China*)

(2 *Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

Abstract The Basin Scale Simulation Model for Soil and Water Resources Management —SWRRB, which includes 198 mathematic equations, was used to simulate water yield, sediment yield and other natural processes in the Lianshui Basin, 579. 3 km² in area in Jiangxi Province, China. A good result was obtained. Successful simulation depends on: (1) dividing the basin into more subareas; (2) elaborately and thoroughly preparing input parameters; (3) fully conducting simulation experiments and adjusting parameters one by one according to the order of magnitude of the influences of input parameters on output parameters, to the optimal effect. More attention was paid to subareas dividing and values assigning to topographical elements, air temperature, rainfall, soil properties and RCN.

Key words Basin simulation; SWRRB model; Water yield; Sediment yield; Soil resources