

# GIS 辅助下的江西潯水河流域径流的 化学组成计算机模拟研究\*

张运生<sup>1</sup> 曾志远<sup>2,†</sup> 李 硕<sup>2,3</sup>

(1 南京森林公安高等专科学校治安管理学系, 南京 210046)

(2 南京师范大学地理科学学院, 南京 210097)

(3 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要** 选择美国农业部农业研究所开发的 SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 模型, 在 GIS 和遥感技术的辅助下, 对江西潯水河流域进行了 SWAT 模型所需相关参数的提取, 实现了较大自然流域径流的化学组成分布式计算机模拟, 并选择了 1993 年和 2000 年两期中模拟值变化较大的 12 个典型子流域, 分析了两期土地利用变化与径流的化学组成模拟值之间的关系。结果表明: 土地利用方式对有机氮、有机磷、硝态氮、可溶性磷和矿化磷的迁移量有明显的影响。这项研究将为农业的可持续发展和流域的综合治理与规划, 为实现农业的最佳管理措施提供一定的技术支持和依据。

**关键词** GIS; 遥感; 数学模型; 径流的化学组成

**中图分类号** P962/7.514 **文献标识码** A

地理过程的高度定量化研究, 涉及很多方面, 产水量和产沙量就是其中重要的两项, 曾志远经过多年的研究, 以计算机为基础的数学模型, 考虑土壤、气候、地形、植被、水文以及人类的经济活动等主要地理因素和过程来进行定量计算, 进而实现地理过程的高度定量化研究, 分别模拟了江西潯水河流域和西班牙提巴河流域的产水量和产沙量。其年产水量、年产沙量及月产水量和月产沙量都已达到较高的精度<sup>[1~3]</sup>。就地理过程而言, 涉及的内容远不止产水、产沙, 还应包括许多其他项目。而径流的化学组成是其中很重要的一项, 在进行地理过程高度定量化的研究中, 这也是必不可少的。本研究尝试了地理过程高度定量化在径流的化学组成方面的应用。

研究区<sup>[4]</sup>选在江西南部兴国县境内的潯水河流域, 面积 579.26 km<sup>2</sup>。流域以丘陵为主, 是中国南方丘陵的典型区之一, 气候上处于中亚热带有很大的代表性。

## 1 研究方法

### 1.1 模型简介

SWAT (Soil and Water Assessment Tools) 模型是由

美国农业部 (USDA) 的农业研究署 (ARS) 发展起来的, 它结合了美国农业研究署几个模型的特征并在 SWRRB 模型的基础上建立起来的, 也是一个基于物理过程、用来模拟连续时间的模型<sup>[5]</sup>。

我们使用的 SWAT 模型是与 ArcView 集成的版本, 充分利用了 ArcView GIS 的编辑、处理和空间分析等功能。

GIS 软件采用了 ESRI 公司的 ArcView GIS 3.2 版本以及其三个功能模块: 空间分析模块、网络分析模块和三维分析模块。其次还使用了 Able 软件公司的 R2V 专业数字化工具并利用其可以将线、面相互转化的特点与 ArcView 结合使用。本研究大量使用了 ArcView 的空间分析和 Geoprocessing 等模块来分析和处理研究所需的数据。

### 1.2 基础数据及其提取

本研究中所用的投影系统为和我国基础地形图相一致的高斯-克吕格投影。所有的图件和相关的点位坐标都采用了高斯-克吕格投影的坐标体系。由于 Arcview 3.2 系统并不支持高斯-克吕格投影, 所有的投影转换工作均在 ENVI 系统下进行, 转换成统一的地图

\* 国家自然科学基金项目“流域土壤和水资源模拟模型的集成和系统化及其应用” (批准号: 40071043) 和中国科学院知识创新工程项目 (KZCX2-413-1) 资助

† 通讯作者

作者简介: 张运生 (1977~), 男, 汉, 河北省内邱县人, 助教, 硕士, 主要从事地理过程的定量化及森林防火研究。E-mail: giszys@sohu.com.

收稿日期: 2004-06-04; 收到修改稿日期: 2005-03-10

格网坐标系统后再输入 Arcview GIS 进行分析。

**1.2.1 地形、河道数据<sup>[4]</sup>** 地形、河道数据包括研究区的数字高程模型(DEM)和流域界限以及数字河网图。

研究区的 DEM 是基于 1974 年出版的 1:10 万地形图而生成的。格网的大小为 25 m × 25 m, 全研究区共 1 441 行 × 1 441 列。在本研究中, 此 DEM 以 ArcView GIS 的 Grid 文件形式存放。

数字河网图是从 1:5 万地形图上将水系手工数字化得到。地形图数字化得到的河网主要用来辅助精确生成河网图, 实际使用的流域河网是通过 DEM 自动生成的。流域界线是在 1:10 万地形图上沿分水岭划出流域界线, 然后将其手工数字化得到。

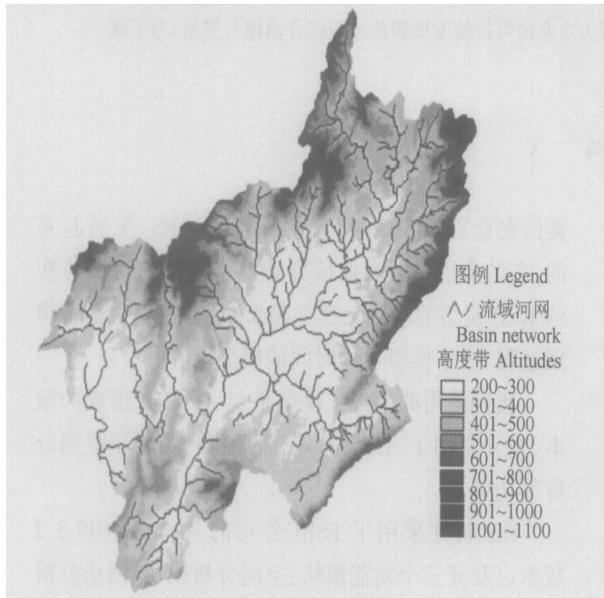


图 1 激水河流域 DEM 和流域内河网示意图

Fig 1 DEM of Lianshui Basin and rivers in Lianshui Basin

**1.2.2 气象观测数据** 日最高气温、日最低气温、风速和相对湿度的数据来源于兴国县气象局(兴国县城内)的逐日观测资料, 时段为 1991~2000 年。

降水数据为研究区内, 东村、莲塘、古龙岗三处雨量站的逐日降水量观测值。时段为: 1991~2000 年。同时, 也搜集了樟木、兴江和兴国县城的部分年份的逐日降水资料, 时段为: 1993~1995。

其他的资料还有: 兴国县 1957~1990 累年逐月的平均水汽压、平均相对湿度、平均风速等多要素月统计资料, 源自气象统计年鉴。以上资料经手工录入后, 均以 DBF 格式文件存贮。

**1.2.3 遥感卫星图像数据** 遥感图像资料有 1995 年 12 月 7 日和 2000 年 12 月 7 日的美国陆地卫星 Landsat-5 的 ETM 影像<sup>(1)</sup>。图 2 为 2000 年 TM4, 3, 2 彩色合成图像。

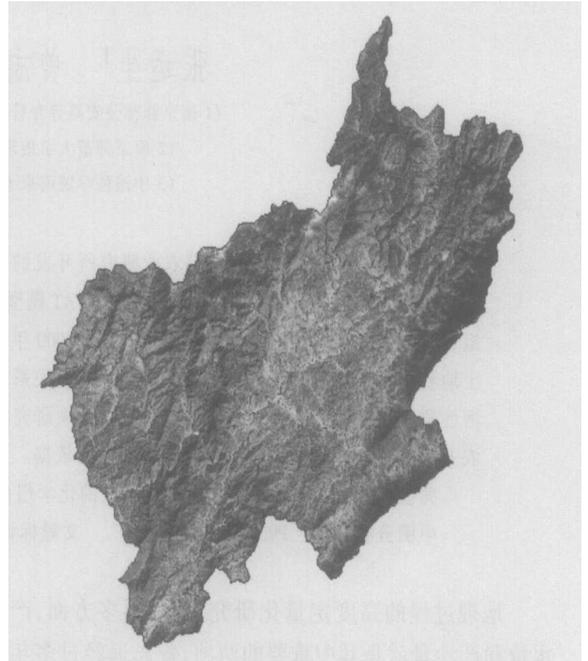


图 2 2000 年 TM4, 3, 2 彩色合成图像

Fig. 2 2000 TM 4, 3 and 2 color composite images

**1.2.4 土壤数据** 土壤资料包括土壤物理、土壤化学和土壤类型空间分布资料, 均源于 1982 年全国第二次土壤普查后汇编的《兴国县土壤》一书<sup>(2)</sup>。数字土壤图为此书所附 1:20 万土壤类型图经手工数字化得到。图 3 即为 ArcView 的 Grid 格式的土壤图。

对于土壤饱和导水率、土壤容重及土壤 N、P 含量参数, 采用实测结果。

在研究区我们共选择了 13 个典型样点, 对于研究区面积较大的土壤类型我们采样较多。而整个采样点所在土壤类型占整个研究区的面积百分比已达到 94.14% 以上。

(1) 土壤饱和导水率的测定。土壤饱和导水率是一个重要的土壤水运动参数, 反映了土壤的入渗和渗漏性质<sup>[7]</sup>, 关系到模型运算结果的可靠程度, 是土壤重要的物理性质之一。

土壤饱和导水率是在田间条件下利用圆盘渗透仪<sup>[7]</sup>来测定的。

因为实测数据的有限性, 对于没有实测饱和导水率参数的土壤层, 我们按《兴国县土壤》<sup>(2)</sup>中相关

(1) 李硕. GIS 和遥感辅助下流域模拟的空间离散化与参数化研究与应用. 南京师范大学博士学位论文, 2002

(2) 中国第二次土壤普查资料汇编. 兴国县土壤. 1982

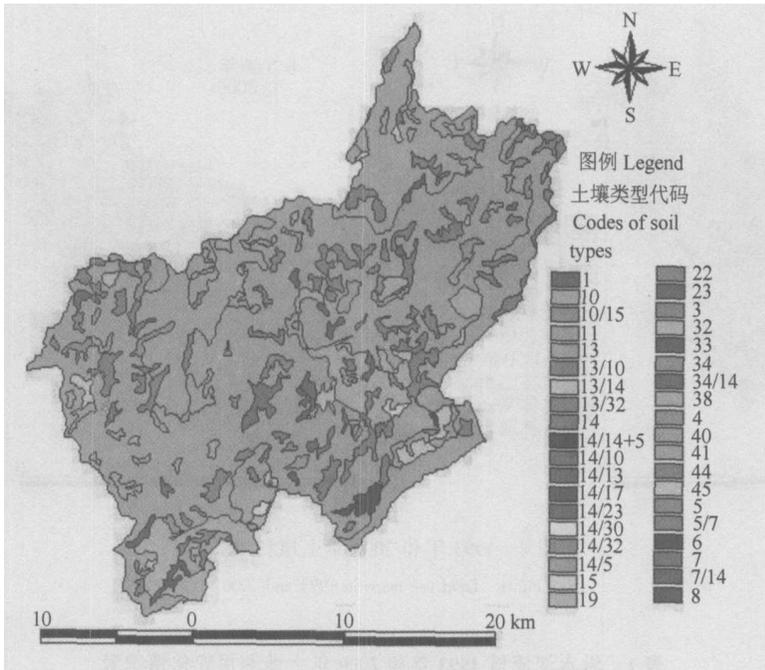


图3 潦水河流域土壤类型图

Fig 3 Soil types in Lianshui Basin

数据求平均值计算。包括后面的土壤容重、土壤有机碳和土壤化学参数在内,也均采用了相同的方法。

(2) 土壤容重的测量。土壤容重的测量,在研究区的东村水文站进行。

(3) 土壤有机碳参数的提取。土壤层中有机碳的计算一般由有机质的含量乘以 0.58 来求得<sup>[8]</sup>,即:

$$C_{ly} = 0.58M_{ly}$$

其中,  $C_{ly}$  指土壤层有机碳含量;  $M_{ly}$  指土壤层有机质的含量。土壤层中有机质的含量采用《兴国县土壤》的资料<sup>(2)</sup>。

(4) 土壤化学数据的参数提取。土壤 N、P 数据(包括有机氮、可溶性磷和有机磷)由中国科学院南京土壤研究所进行采样和提取,采样点的选择与测取土壤饱和导水率的采样点一致。

土壤有机氮含量的提取采用开氏法;有机磷的测定是采用灼烧法;可溶性磷采用水浸提、氯化亚锡法比色。

对于硝态氮,我们没有实测的数据。模型将自动初始化土壤硝态氮的含量。

**1.2.5 土地利用数据** 原始图件为兴国县土地局提供的 1993 年 1:5 万土地利用图;经扫描后在 ENVI 软件中进行图像配准,然后输出成 Geotif 格式,在 ArcView 中进行数字化编辑和处理形成的。2000 年土地利用图由通过 Landsat ETM 影像目视解译得到。

本研究采用两期土地利用图来进行模拟,根据模型的要求,我们对土地利用进行了合并。合并过程是在数字化完以后,在 ArcView 当中利用其空间分析的功能,根据土地利用类型的面积、分布和性质的类似性,最后归结为十类,如图 4 为归并后的栅格形式,grid 大小为 25 m × 25 m。其中,土地利用类型的区别可以参考文献[6]和文献(3)。

通过到野外进行实地考察并拍摄大量的野外照片,进而根据 2000 年的 TM4, 3, 2 彩色合成图像,建立了统一的解译标志。目视解译在实验室通过人机交互方式进行,并进行了实地的验证,图 4b 是最终 2000 年土地利用图。

潦水河流域 1993 年和 2000 年土地利用的变化情况见表 1。

(3) 赣州地区土地利用管理局,土地利用现状调查技术指导组,土地资源勘察设计队. 赣州地区土地利用现状调查技术手册(一), 1990. 10

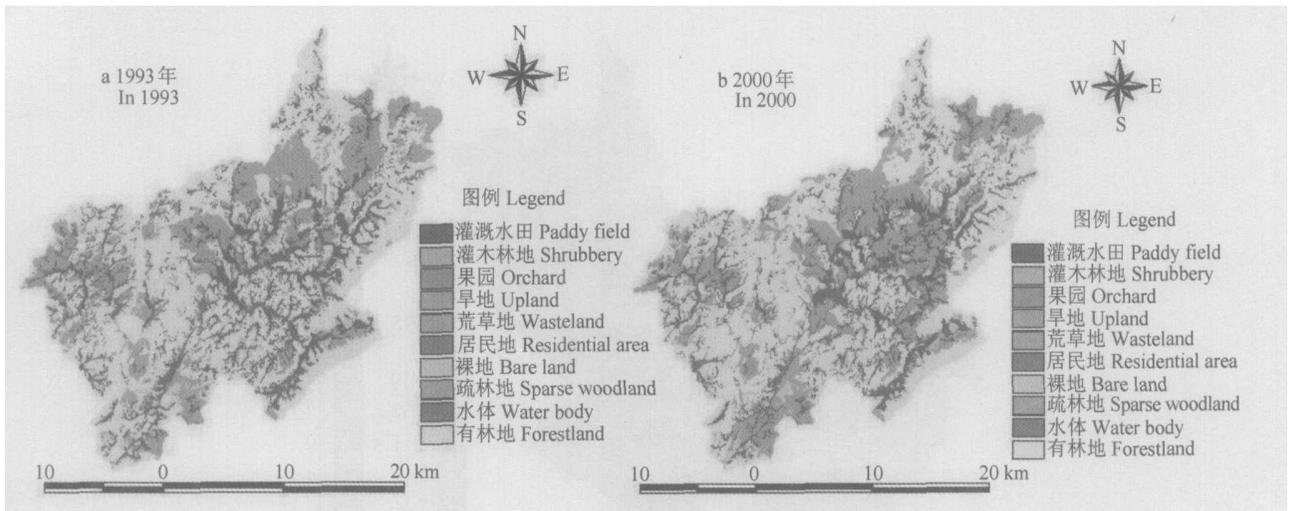


图4 1993年和2000年土地利用图

Fig 4 Land use maps in 1993 and 2000

表1 澗水河流域1993年和2000年土地利用变化情况表

Table 1 Change in land use of the Lianshui basin from 1993 to 2000

土地利用类型代码 Codes of land use types	土地利用类型 Land use types	1993年土地利用面积 Area of land use of 1993 ( $\text{km}^2$ )	2000年土地利用面积 Area of land use of 2000 ( $\text{km}^2$ )	两期土地利用变化 Change in land use between 1993 and 2000( $\text{km}^2$ )
11	灌溉水田 Paddy field	105.24	96.06	- 9.18
14	旱地 Upland	21.63	18.62	- 3.01
21	果园 Orchard	0.24	0.47	0.23
31	有林地 Forestland	325.61	320.09	- 5.52
32	灌木林地 Shrubbery	0.27	0.39	0.12
33	疏林地 Sparse woodland	103.59	118.85	15.26
52	居民地 Residential area	10.26	11.79	1.53
71	水体 Water body	6.38	6.41	0.03
81	荒草地 Wasteland	0.82	0.97	0.15
85	裸地 Bare land	5.21	5.61	0.40

可以看出,从1993年到2000年,变化最多的是疏林地,其次是灌溉水田、有林地和旱地。其中疏林地增加了 $15.26 \text{ km}^2$ ,有林地减少了 $5.52 \text{ km}^2$ ,灌溉水田和旱地分别减少了 $9.18 \text{ km}^2$ 和 $3.01 \text{ km}^2$ 。

**1.2.6 水文和水库资料** 水文资料来自流域出口断面所在地东村水文站的产水量、产沙量实际观测值,时间为1991~2000年,包括逐日径流、泥沙观

测值。录入后,以dbf格式文件存贮。

流域内共有大小5个水库。其相应的资料包括水库位置、上游集水区面积、水位到达紧急泄洪道时表面积、水位到达紧急泄洪道时体积、水位到达正常出水道时表面积、水位到达正常出水道时体积、出水涵洞最大排水能力和泄洪道最大泄量等。

**1.2.7 农业管理数据** 流域内农业管理数据采

用实地调查的数据,包括农作物种植情况、施肥情况以及耕作方式等,属于描述性概括资料。而且,我们发现各个地区农业管理数据基本一致,没有很大的差异。

### 1.3 模型数据的输入

本次研究所采用的 SWAT 模型输入数据的准备都是在 ArcView 界面下进行的。提取的参数直接以 dbf 数据表方式存储,用户只要建立简单的数据索引表就可以通过模型自带的数据库转换程序自动生成模型运行的输入文件。这种方式将参数化过程中参数的提取和生成模型输入文件这两个过程有机结合起来,从而实现了模型运行自动的赋值。

模型的运行需要流域的描绘、土地利用和土壤的定义及叠加、HRUs(水文响应单元)的分配、气象数据的输入、创建模型输入文件和运行 SWAT 模型等几个主要步骤,这几个步骤是依次进行的,这可以避免一些不必要的错误输入。

## 2 结果与讨论

本研究用 1993 年和 2000 年两期土地利用图分别进行模拟。

由于在每个子流域内部仍存在着多种方式的植被-土壤组合,不同的土壤-植被组合也具有不同的水文响应,为了反映这种差异,通常需要在每个子流域内部进行更详细的划分。SWAT 模型采用了不能确定空间位置关系的水文响应单元(HRUs)的划分方法,使用不同的土壤-植被组合来生成 HRUs。由于 1993 年和 2000 年土地利用的不同,就导致了用 1993 年和 2000 年的土地利用图模拟时的 HRUs

的不同。在 1993 年土地利用条件下,HRUs 为 420 个,2000 年土地利用条件下 HRUs 为 423 个。因此用 1993 年和 2000 年的土地利用图两次模拟除土地利用外,其他外部条件均完全相同。

本次模拟采用的时段为 1991 年 1 月 1 日至 2000 年 12 月 31 日。但是,因为 SWAT 模型本身在模拟过程中有一个 Warmup 过程<sup>[5]</sup>,一般第一年的模拟值有异常,在本次模拟也发现了这种情况。因此,下面显示的模拟结果仅从 1992 年 1 月 1 日至 2000 年 12 月 31 日 9 年的模拟值进行分析。

模型模拟的输出结果有 60 多项。下面只是介绍养分输出及与养分输出关系较密切的几项。模型模拟的结果有 1992~2000 年 9 年年平均产出量、1992~2000 年 9 年月平均产出量及子流域的产出量,本次只介绍子流域用 1993 年和 2000 年的土地利用图模拟的径流的化学组成产出量。

### 2.1 子流域 9 年平均的模拟结果

子流域模拟的化学参数包括径流中有机氮、有机磷、硝态氮、可溶性磷和矿化磷的年平均。表 2 表示了用 1993 年和 2000 年的土地利用图模拟的子流域 9 年的平均模拟结果。

### 2.2 子流域用 1993 年和 2000 年的土地利用图模拟 9 年年平均模拟值比较

下面对子流域分析了其土地利用方式与对应子流域模拟值的关系。

由用 1993 年和 2000 年的土地利用图模拟的子流域 9 年平均的模拟结果,可以得出用 1993 年和 2000 年的土地利用图两次模拟的变化(见表 2)。图 5~图 9 分别显示了 62 个子流域有机氮、有机磷、硝态氮、可溶性磷和矿化磷两次模拟值之差的变化情况。

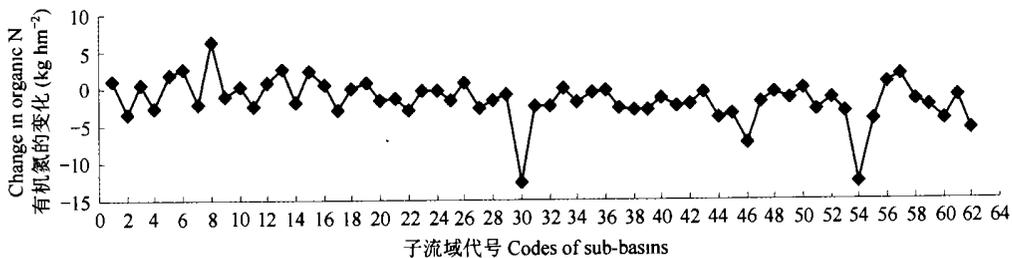


图 5 用 1993 年和 2000 年土地利用图模拟各子流域有机氮变化

Fig 5 The differences of simulated organic N between 1993 and 2000 by using land use maps of sub-basins (1993~2000)

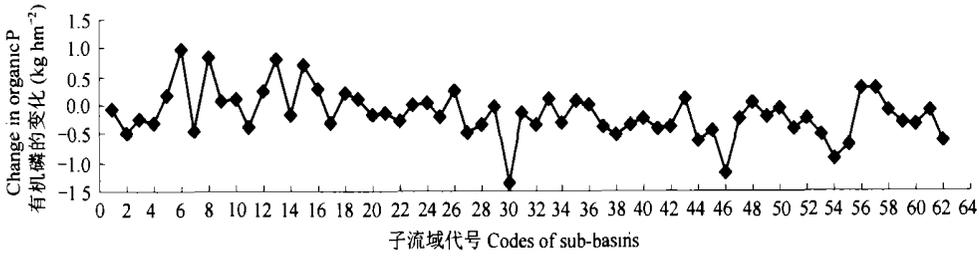


图 6 用 1993 年和 2000 年土地利用图模拟各子流域有机磷的变化

Fig. 6 The differences of simulated organic P between 1993 and 2000 by using land use maps of sub-basins( 1993~ 2000)

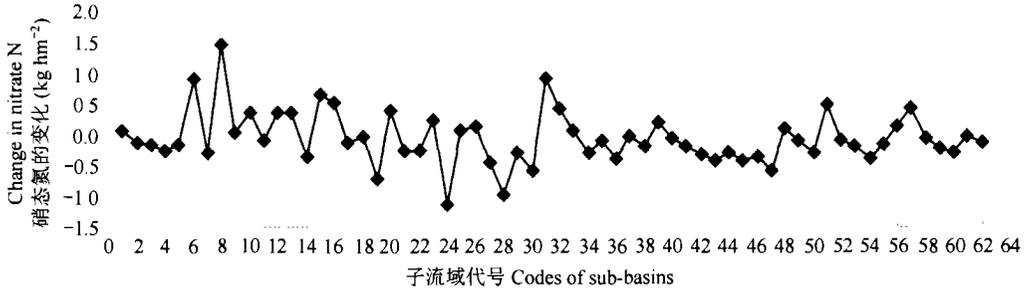


图 7 用 1993 年和 2000 年土地利用图模拟各子流域硝态氮的变化

Fig. 7 The differences of simulated nitrate N between 1993 and 2000 by using land use maps of sub-basins( 1993~ 2000)

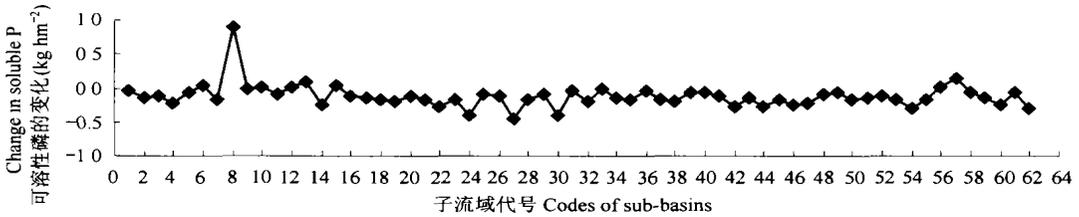


图 8 用 1993 年和 2000 年土地利用图模拟各子流域可溶性磷的变化

Fig. 8 The differences of simulated soluble P between 1993 and 2000 by using land use maps of sub-basins( 1993~ 2000)

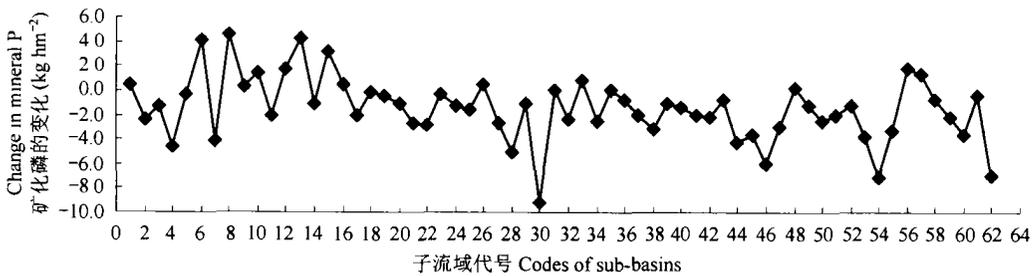


图 9 用 1993 年和 2000 年土地利用图模拟各子流域矿化磷的变化

Fig. 9 The differences of simulated mineral P between 1993 and 2000 by using land use maps of sub-basins( 1993~ 2000)

在以上 5 幅图中,选择了有机氮、有机磷、硝态氮、可溶性磷和矿化磷 5 个值变化都较大的 12 个子流域 2、6、8、13、15、22、30、38、46、54、57 和 62 进行了统计,发现

这 12 个子流域用 1993 年和 2000 年的土地利用图分别模拟的 5 个模拟值差值变化方向基本一致,即在同一子流域,差值均为正(或均为负),如表 3 所示。

表 2 用 1993 年和 2000 年的土地利用图分别模拟的子流域 9 年平均模拟结果

Table 2 Nine year mean results of the simulation of sub-basins using the 1993 and 2000 land use maps

子流域 Sub-basins	有机氮 Organic N ( $\text{kg hm}^{-2}$ )		有机磷 Organic P ( $\text{kg hm}^{-2}$ )		硝态氮 Nitrate N ( $\text{kg hm}^{-2}$ )		可溶性磷 Soluble P ( $\text{kg hm}^{-2}$ )		矿化磷 Mineral P ( $\text{kg hm}^{-2}$ )	
	1993	2000	1993	2000	1993	2000	1993	2000	1993	2000
	1	26.0	27.0	2.3	2.3	2.6	2.8	0.4	0.4	12.0
2	27.9	24.6	2.7	2.2	2.8	2.7	0.6	0.5	15.1	12.7
3	20.5	21.1	2.9	2.7	3.3	3.2	0.8	0.7	16.5	15.2
4	34.5	31.9	4.0	3.7	3.3	3.0	0.9	0.6	25.5	20.8
5	29.4	31.2	2.5	2.7	3.8	3.7	0.7	0.6	18.8	18.5
6	19.8	22.5	5.0	6.0	6.7	7.6	1.6	1.6	28.6	32.7
7	21.9	19.7	2.5	2.1	2.6	2.3	0.5	0.3	14.5	10.3
8	0.5	6.8	0.1	1.0	0.9	2.4	0.0	0.9	0.0	4.6
9	11.5	10.6	1.6	1.6	2.2	2.2	0.3	0.3	8.0	8.3
10	10.1	10.5	1.2	1.3	3.0	3.4	0.2	0.2	6.6	8.0
11	14.7	12.3	2.7	2.3	2.3	2.2	0.4	0.3	12.7	10.6
12	11.0	11.7	2.4	2.6	2.3	2.6	0.4	0.4	12.5	14.2
13	18.8	21.5	4.1	4.9	3.1	3.5	1.1	1.2	21.3	25.6
14	2.1	0.2	0.2	0.0	1.2	0.8	0.2	0.0	1.1	0.0
15	13.0	15.3	2.8	3.5	4.8	5.4	0.8	0.8	19.7	22.8
16	19.7	20.2	4.4	4.7	4.8	5.3	1.7	1.6	26.4	26.9
17	21.5	18.6	3.7	3.4	3.1	2.9	0.8	0.6	23.3	21.2
18	24.4	24.5	5.0	5.2	4.2	4.2	1.9	1.7	24.1	24.0
19	10.0	10.8	1.8	1.9	3.7	3.0	1.5	1.3	11.2	10.7
20	14.7	13.2	3.1	3.0	5.3	5.6	0.9	0.8	22.3	21.2
21	13.2	11.9	2.9	2.7	5.8	5.6	0.9	0.7	22.9	20.2
22	31.0	28.2	5.8	5.5	3.0	2.7	1.5	1.2	27.2	24.2
23	8.5	8.1	1.9	1.9	5.2	5.4	1.7	1.5	11.6	11.3
24	11.3	11.1	2.3	2.4	4.5	3.4	2.2	1.8	11.6	10.4
25	11.9	10.4	2.5	2.3	4.1	4.2	0.6	0.5	17.8	16.3
26	10.7	11.4	2.4	2.6	3.2	3.4	1.8	1.6	11.9	12.3
27	11.7	9.0	2.0	1.5	2.7	2.2	1.6	1.1	10.7	8.0
28	11.7	1012	216	212	410	311	016	014	1719	1218
29	1212	1114	217	217	319	316	016	016	1817	1715
30	2918	1711	418	314	319	313	110	016	2712	1810
31	1615	1412	211	119	216	316	019	019	1516	1515
32	2218	2014	519	515	1011	1016	115	113	3619	3415
33	1119	1119	214	215	210	211	014	014	1210	1217
34	1119	1011	216	212	315	312	016	015	1610	1315
35	811	717	116	117	217	217	115	113	814	813
36	516	513	112	112	210	116	013	012	711	613
37	1617	1410	218	214	311	311	018	017	1614	1413
38	1319	1111	311	216	313	311	019	017	1816	1515
39	1716	1416	215	212	211	213	014	013	1117	1015
40	716	612	116	114	115	115	013	012	716	612
41	1615	1411	313	219	118	116	016	015	1413	1213

续表

子流域 Sub-basins	有机氮 Organic N (kg hm <sup>-2</sup> )		有机磷 Organic P (kg hm <sup>-2</sup> )		硝态氮 Nitrate N (kg hm <sup>-2</sup> )		可溶性磷 Soluble P (kg hm <sup>-2</sup> )		矿化磷 Mineral P (kg hm <sup>-2</sup> )	
	1993	2000	1993	2000	1993	2000	1993	2000	1993	2000
	42	111.3	91.1	21.4	21.0	41.2	31.9	11.2	11.0	14.1
43	131.4	131.0	21.4	21.5	41.2	31.8	11.1	11.0	17.3	16.5
44	181.4	141.5	31.1	21.5	31.6	31.3	11.0	01.7	20.8	16.6
45	211.0	171.6	21.5	21.0	31.5	31.1	01.6	01.5	17.4	13.8
46	91.5	21.0	11.5	01.3	11.7	11.3	01.2	01.0	6.1	01.0
47	121.5	101.8	21.8	21.5	51.2	41.6	11.1	01.8	19.9	16.9
48	151.6	151.1	31.5	31.6	21.9	31.0	11.2	11.1	18.2	18.3
49	71.0	51.8	11.6	11.4	11.8	11.7	01.3	01.2	7.3	6.1
50	311.4	311.4	41.4	41.3	41.3	41.0	11.0	01.9	28.6	26.1
51	221.0	191.1	41.4	41.0	51.9	61.4	01.9	01.8	31.3	29.3
52	91.9	81.6	21.1	11.9	11.6	11.5	01.5	01.4	9.8	8.5
53	151.4	121.4	31.4	21.9	31.8	31.6	01.7	01.5	24.1	20.2
54	281.3	151.8	21.4	11.5	31.8	31.4	01.6	01.3	19.2	12.0
55	201.1	161.1	41.2	31.5	21.0	11.9	01.7	01.6	21.3	17.9
56	61.9	71.7	11.5	11.8	11.2	11.4	01.2	01.2	6.9	8.6
57	41.7	61.5	01.7	11.0	41.5	41.9	21.3	21.5	5.3	6.5
58	151.4	131.7	11.3	11.2	21.1	21.0	01.5	01.4	11.8	11.0
59	141.8	121.6	21.1	11.7	21.6	21.4	01.7	01.6	16.1	13.8
60	211.1	161.9	21.1	11.7	31.9	31.6	01.9	01.7	19.9	16.2
61	161.5	151.6	21.6	21.5	11.6	11.5	01.4	01.4	14.8	14.2
62	161.1	101.6	21.9	21.3	21.2	21.1	01.8	01.5	17.6	10.6

表3 12个子流域用1993年和2000年的土地利用图分别模拟的5个模拟值差值变化情况表

Table 3 Changes in five simulated values of the twelve sub-basins obtained based on the 1993 and 2000 land use maps

子流域 Sub-basin	有机氮 Organic N	有机磷 Organic P	硝态氮 Nitrate	可溶性磷 Soluble P	矿化磷 Mineral P
2	-	-	-	-	-
6	+	+	+	+	+
8	+	+	+	+	+
13	+	+	+	+	+
15	+	+	+	+	+
22	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-
54	-	-	-	-	-
57	+	+	+	+	+
62	-	-	-	-	-

注:/+0表示以2000年土地利用为数据的子流域1992~2000年9年平均模拟结果与对应的以1993年土地利用为数据的子流域9年平均模拟结果之差为正,/-0表示差值为负 Note:/+0 represented the positive value (the difference of the simulated values of the sub-basins obtained based on the 2000 land use maps and that of the sub-basins obtained based the 1993 land use maps), /-0 represented the negative value

进而,我们对这 12 个子流域的土地利用方式进行了统计,如表 4。

表 4 12 个子流域 1993 年和 2000 年土地利用情况

Table 4 Land use in the twelve sub-basins in 1993 and 2000

子流域 sub-basin	子流域面积 Area of sub-basin (km <sup>2</sup> )	1993 年 In 1993					2000 年 In 2000				
		林地 Forest land (km <sup>2</sup> )	农田 Field land (km <sup>2</sup> )	裸地 Bare land (km <sup>2</sup> )	居民地 Residential area (km <sup>2</sup> )	水体 Water body (km <sup>2</sup> )	林地 Forest land (km <sup>2</sup> )	农田 Field land (km <sup>2</sup> )	裸地 Bare land (km <sup>2</sup> )	居民地 Residential area (km <sup>2</sup> )	水体 Water body (km <sup>2</sup> )
		2	7 035	5 969	11 066	-	-	-	6 164	01 870	-
6	2 555	11 751	01 804	-	-	-	11 631	01 924	-	-	-
8	4 719	3 886	-	-	01833	-	3 736	01 983	-	-	-
13	11 077	01 682	01 272	-	01123	-	01 614	01 313	-	01150	-
15	12 513	9 806	21 707	-	-	-	9 259	31 252	-	-	-
22	3 508	11 840	11 442	01226	-	-	11 994	11 291	01223	-	-
30	14 097	101 320	31 777	-	-	-	111 607	21 490	-	-	-
38	1 11 449	8 803	21 646	-	-	-	9 316	21 132	-	-	-
46	5 079	4 730	01 349	-	-	-	5 079	-	-	-	-
54	4 733	3 393	01 835	01505	-	-	4 219	01 516	-	-	-
57	01 129	01 054	01 056	-	01012	01 007	01 035	01 066	-	01020	01008
62	5 957	4 717	11 240	-	-	-	5 225	01 731	-	-	-

从表中可以看出,子流域 6、8、13、15、57 中 2000 年林地(包括有林地和疏林地)面积较之 1993 年均减少了,分别减少了 01120 km<sup>2</sup>、01150 km<sup>2</sup>、01068 km<sup>2</sup>、01547 km<sup>2</sup> 和 01019 km<sup>2</sup>;而农田均增加了,分别增加 01120 km<sup>2</sup>、01983 km<sup>2</sup>、01041 km<sup>2</sup>、01546 km<sup>2</sup> 和 01010 km<sup>2</sup>,而这 5 个流域用 1993 年和 2000 年的土地利用图模拟的模拟值的差都为正。子流域 2、22、30、38、46、54 和 62 中 2000 年林地面积较之 1993 年均增加了,分别增加 01195 km<sup>2</sup>、01154 km<sup>2</sup>、11287 km<sup>2</sup>、01513 km<sup>2</sup>、01349 km<sup>2</sup>、01826 km<sup>2</sup> 和 01508 km<sup>2</sup>,而农田均减少了,分别减少 01196 km<sup>2</sup>、01151 km<sup>2</sup>、11287 km<sup>2</sup>、01514 km<sup>2</sup>、01349 km<sup>2</sup>、01319 km<sup>2</sup> 和 01509 km<sup>2</sup>。而这 7 个子流域用 1993 年和 2000 年的土地利用图模拟的模拟值的差都为负。可见这 12 个子流域用 1993 年和 2000 年的土地利用图模拟的年平均模拟值的变化随农田面积和林地覆盖面积的变化而变化,即农田面积越小、林地覆盖面积越大则子流域年平均模拟值就越小,反之,模拟值越大。

由上面的分析可以看出,有机氮、有机磷、硝态氮、可溶性磷和矿化磷的迁移量与土地利用有密切

的关系,迁移量基本与林地覆盖面积成相反的趋势,即农田面积越小、林地覆盖面积越大则迁移量越小,反之,迁移量越大。

因为我们选择的 12 个子流域是比较典型的,即用 1993 年和 2000 年的土地利用图模拟的年平均模拟值差异较大的子流域,因此得出的结论具有一定的代表性。而且,我们还用此结论在其他差异较大的子流域进行了验证,结果表明,在绝大多数情况下,结果比较满意。也存在着少数与结果矛盾的子流域,例如子流域 19、31 和 51 中硝态氮的模拟值,这也同时说明径流的化学组成模拟值还受到其他因素的影响。

### 3 结论与展望

本研究实现了基于机理数学模型的较大自然流域径流的化学组成分布式计算机模拟。研究既是原来研究工作的一个继承,也是进一步的深入和发展。为地理过程高度定量化更进一步的深入研究奠定了一定的基础。尽管本次模拟的结果没有径流的化学组成实测数据进行验证,水径流和泥沙径流是有实

测数据验证的,且其模拟精度较高,故本次径流的化学组成模拟的探讨还是有一定参考价值的。

研究分析了土地利用方式对径流的化学组成的影响。为农业的可持续发展和流域的综合治理与规划提供有意义的参考,为实现农业的最佳管理措施<sup>[9]</sup>提供了一定的技术支持和依据。

当然,本研究存在着一些不足之处,主要是模型所需输入数据的缺乏和缺陷及没有可提供验证模拟结果的数据:例如采用 1B20 万研究区第二次土壤普查的土壤类型分布图作为水文响应单元的划分依据,相对于土地利用类型图,在空间尺度上存在较大差异;由于时间和经费的限制,本研究没有对径流中化学组成进行实测,也使得本研究缺乏可提供验证模拟结果的数据。

尽管目前利用 GIS、遥感和模型进行地理过程的高度量化研究,仍然存在着一定的局限性,比如模型的过于复杂及对数据的严格要求等。但相信,随着科技的发展和科研人员的不断努力必将日趋成熟。

致谢 南京师范大学地理科学学院赵鸿雁和郭剑参与了本研究 2000 TM 4, 3, 2。

## 参考文献

- [ 1 ] 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. 见:董哲仁主编. 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~ 188. Zeng Z Y, Li S, Zhang Y S. Apply on soil and water resources for the two basins in Spain and China using computer simulation with the help of GIS and remote sensing techniques ( In Chinese). In: Dong Z R. ed. Proceedings of Workshop on Application of GIS Technology in Water Resources Sector. Nanjing: Hohai University Press, 2001. 175~ 188.
- [ 2 ] Zeng Z Y, Meijerink A M J. Water yield and sediment yield simulation for Teba catchment in Spain using SWRRB model: . Model input and simulation experiment. *Pedosphere*, 2002, 12(1): 41~ 48
- [ 3 ] Zeng Z Y, Meijerink A M J. Water yield and sediment yield simulation for Teba catchment in Spain using SWRRB model: . Simulation results. *Pedosphere*, 2002, 12(1): 49~ 58
- [ 4 ] 曾志远,潘贤章,杨艳生,等. 江西潯水河流域自然过程的计算机模拟研究 N. 模型和方法及模拟输入研究. 见:林琿主编. 流域管理科学化的探索与实践. 南昌:江西科学技术出版社, 2000. 70~ 78. Zeng Z Y, Pan X Z, Yang Y S, *et al.* Study on simulation of physical process with computer help in Lianshui basin, Jiangxi: 1. Model, technique and inputs of simulation In: Lin H. ed. The Explore and Practice on Scientific Management of Basin ( In Chinese). Nanchang: Jiangxi Sciences Technology Press, 2000. 70~ 78
- [ 5 ] Neitsch S L, Arnold J G, Williams J R. Soil And Water assessment Tool User. s Manual Version 2000. Grassland, Soil and Water Research Laboratory-Agricultural Research Service, Blackland Research Center-Texas Agricultural Experiment Station, 2001
- [ 6 ] 华孟,王坚. 土壤物理学. 北京:北京农业大学出版社, 1993. 280~ 290. Hua M, Wang J. Soil Physics ( In Chinese). Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993. 280~ 290
- [ 7 ] 朱安宁,张佳宝,陈德立. 土壤饱和导水率的田间测定. 土壤, 2000, (4): 215~ 218. Zhu A N, Zhang J B, Chen D L. Measurement of field-saturated hydraulic conductivity ( In Chinese). *Soils*, 2000, (4): 215~ 218
- [ 8 ] 浙江农业大学主编. 农业化学. 上海:上海科学技术出版社, 1980. 64. Zhejiang Agricultural University. Agricultural Chemistry ( In Chinese). Shanghai: Shanghai Sciences and Technology Press, 1980. 64
- [ 9 ] 张甘霖. 服务于可持续农业的最佳管理措施的概念和内涵. 科技导报, 2001, (1): 22~ 24. Zhang G L. The best management practices for sustainable agriculture: concept and contents ( In Chinese). *Science and Technology Review*, 2001, (1): 22~ 24

## GIS-AIDED COMPUTER SIMULATION OF CHEMICAL COMPOSITION OF RUNOFF IN LIANSHUI BASIN, JIANGXI PROVINCE

Zhang Yunsheng<sup>1</sup> Zeng Zhiyuan<sup>2\*</sup> Li Shuo<sup>2,3</sup>

(1 *Department of Public Order Administration, Nanjing Forest Police College, Nanjing 210046, China*)

(2 *College of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China*)

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

**Abstract** With the aid of GIS (Geographical Information System), remote sensing technology, and the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model developed by the ARS (Agricultural Research Service) of the USDA (United States Department of Agriculture), relevant parameters essential to the SWAT model were extracted from Lianshui Basin, Xingguo County, Jiangxi Province, and computer simulation of chemical composition of the runoff in the study area was carried out. Twelve typical sub-basins varying sharply in simulation value from 1993 to 2000 were selected for analysis of relationship between land use and simulated chemical composition, using the land use maps of the two time periods. Results show that land use was closely related to translocation rates of organic N, organic P, nitrate N, Soluble P and Mineral P. The findings of the study can be used as technical aid and basis for sustainable development of the agriculture, comprehensive administration and programming of the basin, and realization of agricultural BMPs (Best Management Practices).

**Key words** Geographical information system; Remote sensing; Mathematical models; Chemical composition in runoff