

SWAT模型在巢湖流域农业面源 污染研究中应用前景与方法

吴春蕾, 马友华, 李英杰, 王桂苓, 孙兴旺, 张丽娟
(安徽农业大学资源环境与信息技术研究所, 合肥 230036)

摘要:为阐述目前国内外农业面源污染的严重形势,在研究和学习国内外有关面源污染模型并结合巢湖流域具体的农业污染特点的基础之上,建立了基于GIS基础的SWAT模型,开创了巢湖流域农业面源污染研究的新阶段,同时为其巢湖流域规划和管理提供决策依据。
关键词:巢湖流域;地理信息系统;SWAT模型
中图分类号:S157 **文献标志码:**A **论文编号:**2010-0208

Prospect and Method on Agricultural Non-point Source Pollution of SWAT Model in Chao Lake Basin

Wu Chunlei, Ma Youhua, Li Yingjie, Wang Guiling, Sun Xingwang, Zhang Lijuan
(Institute of Resource Environment and Information Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: In order to elaborate the serious situation of agricultural non-point source pollution in home and abroad. In the basis of studying and learning non-point source pollution model and considering the pollution characteristics of Chaohu Lake, creating a new research stage for the agricultural non-point source pollution of Chaohu Lake basin and providing the decisions for the planning and management of Chaohu Lake.
Key words: Chaohu Lake basin; GIS; SWAT model

0 引言

农业面源污染是指在农业生产活动中,氮素和磷素等营养物质、农药以及其他有机或无机污染物质,通过农田的地表径流和农田渗漏形成的环境污染^[1]。许多发达国家已证实农业面源污染是导致水污染的主要原因之一,农业面源污染对河流、湖泊的负荷在60%~70%之间^[2-4],而中国的许多水域,如北京密云水库、天津于桥水库、安徽巢湖、云南洱海、上海淀山湖水域等,它们的非点源污染负荷已超过点源污染负荷。根据中国国家环保局在太湖、巢湖、滇三峡库区等流域的调查,工业废水对总氮、总磷的贡献率仅占10%~16%,而生活污水和农田的氮磷流失是水体富营养化的主要原因^[5-9]。由于农业面源污染发生的间歇性,随机性、不确定性,致使估算其负荷难度较大,近几年来,非点源污染数学模型与地理信息系统的结合研究开创了一个新

的面源污染研究阶段。其中,SWAT模型是基于GIS基础上的一个具有很强物理机制的长时段的流域分布式水文模型,近年来在面源污染方面虽然得到了广泛和深入的应用,但在国内使用不多,因此,结合国内实际状况,考虑其在国内流域的应用研究意义重大。

1 国内外研究现状

1.1 农业面源污染负荷模型研究动态

国外发达国家早在20世纪70年代就开始重视农业面源污染,并开发出许多模型。最早的非点源污染模型是集总模型,其典型代表是美国农业部农业研究所1980年开发的连续模拟模型CREAMS^[10](Chemicals Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems),该文首次对面源污染的水文、侵蚀和污染物迁移过程进行了系统的综合,主要用于研究农田管理对水、泥沙、营养物和杀虫剂的影响。

基金项目:国家科技支撑计划项目(No:2007BAD87B06)资助;国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07103-002)资助。
第一作者简介: 吴春蕾,女,1985年出生,安徽省安庆人,硕士研究生,主要从事农业面源污染控制和治理方面研究。通信地址:230036 安徽省合肥市长江西路130号 安徽农业大学46号信箱。E-mail: wuchunlei008144@sohu.com, Tel: 0551-5786289。
通讯作者: 马友华,男,1962年出生,安徽霍邱人,教授,主要从事土壤肥料、农业生态与环境、资源环境与信息技术的研究。Tel: 0551-5786289, E-mail: yhma2010@yahoo.com.cn。
收稿日期:2010-01-19, **修回日期:**2010-07-01。

CREAMS推出后在其基础上发展出一系列结构特征类似的模型。如农田小区模型 EPIC^[11] (Erosion Productivity Impact Calculator)、用于模拟农业活动对地下水影响的 GLEAMS^[12] (Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems)、用于模拟大型流域面源污染负荷的 SWRRB^[13-14] (Simulator for Water Resources in Rural Basins) 和 SWAT^[15] (Soil Water Assessment Tool)、应用于中小流域面源模型 AGNPS^[16] (Agricultural Non-point Source) 及 ANSWERS^[17] (Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation)。美国的 SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 模型 (Arnold 等开发的分布式参数模型), 它着眼于对非点源污染物理化学过程的研究和非点源过程的广泛监测。

进入 20 世纪 80 年代, 中国才逐渐认识到非点源污染问题的重要性。1980—1990 年中国的非点源污染研究仅是农业非点源的宏观特征与污染负荷定量计算模型的初步研究。20 世纪 90 年代以来, 农药、化肥型模式在农业非点源污染中占据了重要地位。将农业非点源污染负荷模型与 3S 技术结合、与水质模型对接用于流域水质管理成为农业非点源研究的新增长点。其中李怀恩等提出的机理性流域暴雨径流响应模型占有重要地位^[18]。它要求参数少、应用范围广, 适合中国目前资料短缺的非点源污染研究现状, 但该集总式模型不易解释非点源污染在流域内的空间分布, 其推广性还有待检验。

1.2 SWAT 模型原理及研究进展

SWAT (Soil and Water Assessment Tool) 模型是美国农业部 (USDA) 开发的适用于较大流域尺度的分布式非点源污染负荷模型。是在 SWRRB 模型基础上发展起来的一个长时段的流域分布式水文模型^[19-21]。模型利用大量的流域基础数据, 如气象数据、土壤性质、植被覆盖、土地管理措施及 GIS 和 RS 提供的空间数据等作为输入来模拟预测具有多种土壤类型、土地利用和管理条件的大面积复杂流域, 包括水的运动、泥沙的运动、植物生长过程和营养物质的循环等物理过程 (图 1)^[22]。

目前 SWAT 模型已经比较广泛地应用于美国国家项目 (如 HUMUS 项目)、大的区域性项目 (如 NOAA'S Coastal Assessment Framework) 和许多不同尺度的研究项目中。研究内容涉及到流域水平衡、流量预测和面源污染控制等诸多方面。模型的有效性也得到了许多研究项目的证明, 并于 1996 年通过了美国环境保护署 (US EPA) 组织的关于模型性能、模拟精度等方面

的全方位评价。在最终的评价报告中, 对于 SWAT 模型在美国 15 个流域 (流域面积: 40407 km²) 应用的有效性, 也进行了证明; Sidney 等将 SWAT 模型在 Bosque 流域对径流、泥沙和氮磷负荷进行了验证, 并对溶解态磷的管理措施效果进行了评价^[23]; 由于 SWAT 模型需要大量的参数, 为了便于集水区的参数化, 以 GIS 为基础的输入界面 SWAT-GRASS 应运而生。该界面利用 GRASS 操作、提取信息, 并将空间信息转换为 SWAT 模型的输入数据, 通过将 SWAT 和 GRASS 连接在一起, 成功地模拟了得克萨斯一流域的水文、土壤侵蚀和泥沙输送, 模型输入信息从 GRASS 中提取, 减少了数据筛选和操作时间。Behera 和 Panda^[24] 利用 SWAT 模型来模拟不同的管理措施对印度孟加拉西部 Midnapore 流域日径流量和泥沙量以及营养物浓度的影响, 并且模拟最佳管理措施 BMPs (Best Management Practices), 结果模型成功地模拟了径流和水质, 识别了流域内子流域污染严重区, 并且从 48 套模拟管理方案中选择了一种最佳管理措施。Grizzetti 等^[25] 利用 SWAT 模型研究了芬兰 Vantaanioki 流域的 N、P 循环和转化; Bouraoui^[26] 应用 SWAT 模型研究了北非突尼斯 Medjerda 流域不同管理措施对该流域地表水产生的潜在影响, 得出流域内氮磷负荷的增加主要是由于农业施肥率的增加。在国内, 郝芳华^[27] 等在官厅水库流域和黄河下游卢氏流域应用 SWAT 模型对径流、泥沙和氮污染负荷进行模拟, 并对不同管理措施的效果进行了模拟分析, 万超等^[28-29] 在潘家口水库流域应用 SWAT 模型对不同水平年进行了面源污染负荷计算, 并分析了施肥对于面源污染负荷的影响。

2 SWAT 模型在巢湖流域农业面源污染中的应用研究意义

巢湖位于安徽省中部, 是安徽省省会合肥市和巢湖市重要的饮用水源地, 近年来在推动经济发展和人口增长的同时忽视了环境保护, 导致水质日趋恶化。全湖平均水质常为 IV 类、劣 V 类。恢复和改善巢湖水质, 治理富营养化, 尽快实现巢湖生态修复是当今全流域经济发展的关键, 因此需要评价这些污染给巢湖水域造成的影响, 一般传统的方法普遍基于长期、定点观测或小区试验的基础上进行区域扩展, 这种方法周期长, 投资大, 且具有区域依赖性, 由于面源污染往往与流域水文过程具有不可分割的关系, 在进行巢湖流域农业面源污染的量化研究以及影响评价和污染治理时, 最为有效和直接的方法是建立模拟模型, 进行时间和空间序列上的模拟。非点源污染模型通过对整个流域系统及其内部发生的复杂污染过程进行定量描述, 帮

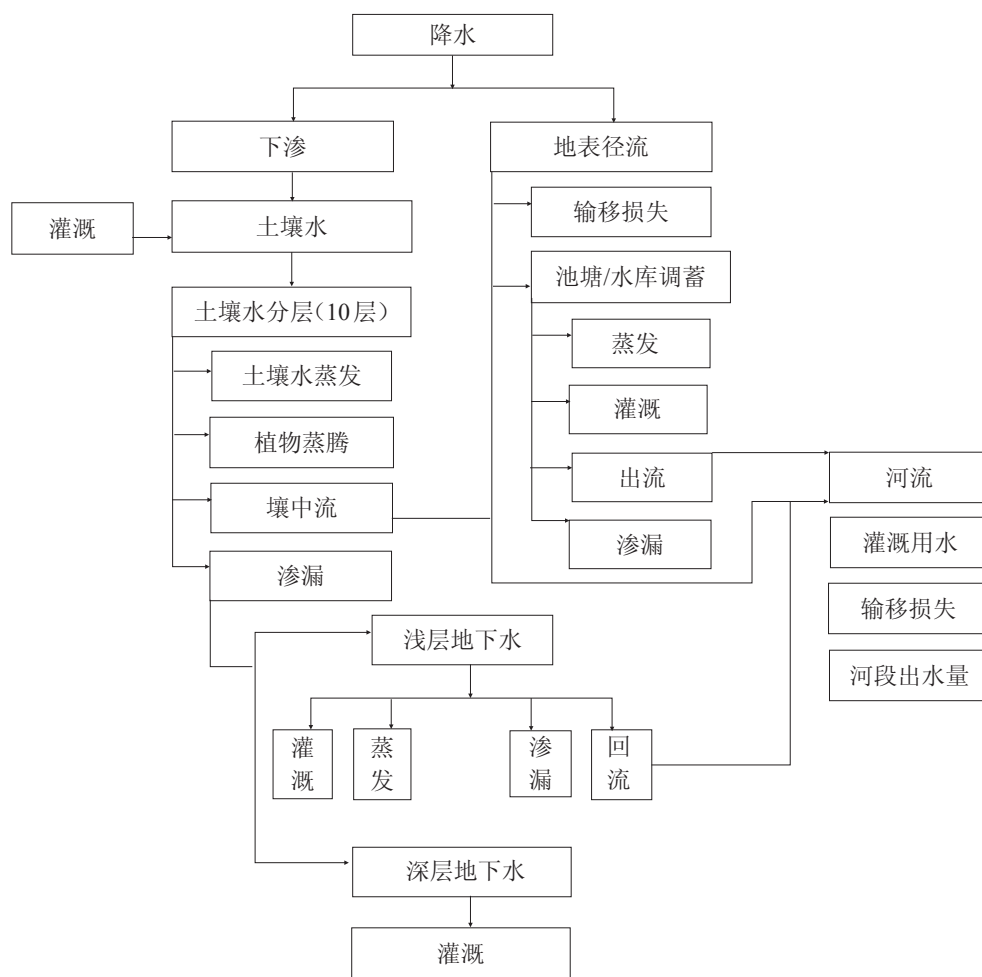


图1 SWAT模型的结构

助分析非点源污染产生的时间和空间特征,识别其主要来源和迁移路径,预测污染的产生负荷及其对水体的影响,并评估土地利用的变化、不同的管理与技术措施等对非点源污染负荷和水质的影响,为巢湖流域规划和管理提供决策依据。SWAT模型是一种基于GIS基础之上的分布式流域水文模型,近年来得到了快速的发展和运用,主要是利用遥感和地理信息系统提供的空间信息模拟多种不同的水文物理化学过程,如水量、水质以及杀虫剂的输移与转化过程。能够很好地模拟降雨径流过程中,泥沙、氮和磷等污染物的迁移转化及其在流域内的空间分布规律。因此,SWAT模型在巢湖流域的农业面源污染中的应用研究具有十分重要的意义。

3 SWAT模型在巢湖流域农业面源污染中的应用研究内容

3.1 技术路线

SWAT是一个分布式水文模型。通过空间离散化将巢湖流域划分成为地理因素和过程相对均一的单元,通过参数化过程提取和组织每个单元的运行文件。SWAT模型运行时可以采用格网离散化、坡面离

散化或子流域离散化。针对巢湖流域,一般多采用流域—子流域水文响应单元的离散方案。具体设计思路如图2。

3.2 模型所需的数据的收集和处理

首先从多种途径收集建模所需要的大量数据,包括DEM、水文气象数据的收集与整理、土地利用与土壤分布信息、植被以及农业管理措施等等资料的收集,主要是农村非点源污染数据的收集与分析,包括农业人口数量、农村综合污水及固弃物排放现状、化肥农药使用和畜禽产生的污水等数据的收集。并将不同来源与不同格式的数据进行统一处理,将其转换为SWAT模型中能够识别的代码类型,借助GIS建立超乎流域非点源污染空间信息数据库,同时土地利用重分类是很重要的一个环节。

3.3 子流域划分以及HRU的分配

根据巢湖流域的自然地理条件,模拟时分别构建SWAT模型,便于模型的率定,根据模型的子流域划分阈值来划分流域,然后在每一个子流域内再划分水文响应单元HRU(同一个子流域内有着相同土地利用类



图2 工作技术路线图

型和土壤类型的区域),进行农村非点源污染数据的收集与分析,包括农业人口数量、农村综合污水及固废弃物排放现状、化肥农药使用和畜禽产生的污水等数据的收集。

3.4 模型参数敏感性分析及率定和验证

采用模型自带的模块对径流的敏感性进行分析,采用 LH-OAT 法可确保所有参数在取值范围内均被取样。选取试验点中对 SWAT 模型径流和泥沙过程中最为敏感的一些参数进行敏感性分析。为了寻求能使模拟与观测之间最一致的参数值,因此需要对模型进行率定,可以采用 4~5 年的已监测的数据按照水文参数、土壤侵蚀参数和污染物流失参数分别进行率定。每一步率定先采用年数据进行粗率定,然后再用月数据进一步率定。其次对水文进行模拟验证,就是对模型预测的可信度的评估,采用研究年份的数据,将在巢湖流域试验点的实测的径流数据与模拟的数据进行比较,在此过程中对参数进行敏感性分析,并对系统进行优化。最后,经径流、泥沙和非点源污染负荷 3 大项参数的率定及其模型验证,最终确定模型参数的数值。

3.5 基于 SWAT 模型的非点源污染负荷估算与评价

以研究年份的模拟结果为例,分析研究区非点源污染负荷产生的空间分布特征。可以为巢湖流域土壤侵蚀和污染物负荷分布给出定性和定量分析,可以确定土壤侵蚀和污染物分布较严重的地区,为流域水资源保护规划提供参考。不同年份对应不同的水文条件,因此模型对不同年份的模拟结果基本反映了不同水文条件下流域内的非点源污染状况,同过输入典型年的逐日降雨量数据,可以得出典型年的非点源污染分布规律。

3.6 土地利用变化对非点源污染负荷的影响

根据研究区重新分类后的土地利用类型,经过 HRU 划分后所引起的土地利用类型面积的变化,得出不同类型的土地的面积在研究区所占的比例大小。从而估算研究区内不同土地利用类型的非点源污染负荷量。

4 结语

SWAT 模型的应用领域已经不断在拓宽,已经成功地应用于 TMDL(日最大污染总量模型)、土地利用变化和气候变化对水文响应的影响、BMPs(Best

Management Practice, 最优管理措施)和非点源污染关键区识别各个方面。在借鉴和学习国内外水污染模型的基础之上,建立了针对巢湖流域农业面源污染特点的 SWAT 模型,通过 SWAT 模型的建立,对巢湖流域研究区域的空间离散化,生成水文响应单元,模拟得到巢湖流域研究区域的径流量,养分量以及泥沙等结果,并可确定一些敏感性参数,初步建立一套调整方法。通过对其与实测值的分析比较,验证模型,优化基础参数,完善数据库的构建,这样可以对巢湖流域的非点源污染负荷进行更准确的计算与污染评价,并对巢湖流域的水污染治理提供更好的措施。由于农业生产活动中,施肥量、施肥方式以及种植制度不同加上多变的气候因素,导致农田排放的污染物质具有不确定性,随机性、间歇性,治理起来难度较大,因此通过传统的田间试验法费时费力,结果误差比较大,而建立在 GIS 基础之上的 SWAT 模型,具有庞大的数据库容量,可以根据参数的变化随时进行调整,使模拟结果更加准确。随着信息技术的发展,SWAT 模型作为流域水资源综合管理的支撑模型之一,具有十分重要的应用前景,一定能够发挥其在面源污染、农业管理和水库调度方面综合模拟优势。

参考文献

- [1] 唐建初,刘钦云,肖顺勇.湖南省农业面源污染分析及其防治对策[J].农业质量标准,2006(5):23-25.
- [2] Corwin D L, Wagenet R J. Application of GIS to the Modeling of Non--Point Source Pollutants in the Vadose Zone[J]. J. Environ. Qual.1996,25(3):403-411.
- [3] Tim U S, Jolly R. Evaluating Agricultural Non-point-Source Pollution Using Integrated Geographic Information Systems and Hydrologic/Water Quality Model[J]. Environ. Qual.1994,23:25-35.
- [4] Liao H, Tim U S. Interactive water quality modeling within GIS[J]. Comp. Environ. Urban 1994,18:343-344.
- [5] 金相灿,刘树坤,章宗涉,等 中国湖泊环境(第一册)[M].北京:海洋出版社,1995.
- [6] 金相灿,刘树坤,章宗涉,等 中国湖泊环境(第二册)[M].北京:海洋出版社,1995.
- [7] 金相灿,刘树坤,章宗涉,等 中国湖泊环境(第三册)[M].北京:海洋出版社,1995.
- [8] 国家环保总局.三湖三河水质水情月报[M].2004.
- [9] 王培,马友华,赵艳萍,等,SWAT 模型及其在农业面源污染研究中的应用[J].农业环境科学学报,2008,5:105-109.
- [10] Knisel W G. CREAMS:A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems[R]. Conservation Research Report No 26.1980.
- [11] Williams J R, Jones C A, Dyke P T. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity [J].Transactions- American Society of Agricultural Engineers,1984, 27(1):129-144.
- [12] Leonard R A, Knisel W G, Still D A. GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems [J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1987,30(5):1403-1418.
- [13] Arnold J G, Williams J R, Nicks A D, et al. SWRRB:A Basin Scale Simulation Model for Soil and Water Resources Management[M]. College Station: Texas A & M Press,1990.
- [14] DiLzio M, Srinivasan R, Arnold J G, Arcview Interface for SWAT2000 User' s Guide[M]. U S Department of Agriculture-Agricultural Research Service, Temple, Texas.2001: 7-351.
- [15] 庞靖鹏.非点源污染分布式水文模拟——以密云水库水源保护地为例[J].水土保持学报,2005,18(3):30-47.
- [16] 曾远,张永春,张龙江,等.GIS支持下AGNPS模型在太湖流域典型圩区的应用[J].农业环境科学学报,2006,25(3):761-765.
- [17] Beasley D B and Hnggins L F. ANSWERS User's Manual[G], Department of Agricultural Engineering, Purdue University, West Lafayette, 1980.
- [18] 李怀恩,刘玉生.逆高斯分布瞬时输沙单位线模型[J].水土保持学报.1994,8(2):48-55.
- [19] Arnold J G, Williams J R Maidment D R. Continuous time water and sediment routing model for large basins[J]. Journal of Hydraulic Engineering.1995,121(2):171-183.
- [20] Neitsch S L, Arnold J G, Kinary J R, et al. Soil and water assessment tool theoretical documentation Version 2000.2002.
- [21] 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.
- [22] 王中根,刘昌明,吴险峰. 基于 DEM 的分布式水文模型研究综述 [J].自然资源学报, 2003,18 (2):1-6.
- [23] Sidney A, James H, James L V .Model Evaluation Process USDA-EPA[EB/OL].[2008-07-10].[http:// WWW.epa.gov/scipoly/sap/1998/july/lpart5.pdf](http://WWW.epa.gov/scipoly/sap/1998/july/lpart5.pdf).
- [24] Behera S, Panda R K, Evaluation of management alternatives for an agricultural watershed in a sub-humid subtropical region using a physical process based model[J]. Agriculture Ecosystems and Environment,2006,113 (1-4):62-72.
- [25] Grizzetti ,B,Bouraoui, F,Granlund, K,et al.Modelling diffuse emission and retention of nutrients in the Vantaanjoki water shed (Finland) using the SWAT model[J].Ecological Modelling,2003,169: 25-38.
- [26] Bouraoui F, Benabdallah S, Jrad,A, et al. Application of the SWAT model on the Medjerda river basin(Tunisia) [J].Physics and Chemistry of the Earth, 2005,30(8-10):497-507.
- [27] 郝芳华,孙峰,张建永.官厅水库流域非点源污染研究进展[J].地学前缘,2002,9(2):387-389.
- [28] 万超,张思聪.基于GIS的潘家VI水库面源污染负荷计算[J].水力发电学报,2003(81):62-68.
- [29] Chongyu X, Elin W, Sevn H, Modelling Hydrological Consequences of Climate change Progress and Challenges[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2005,22(6):789-790.