

基于 SWAT 模型的陕西沔河流域非点源污染模拟

李家科, 杨静媛, 李怀恩, 沈冰, 杜鹃

(西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: 随着工业点源的大幅治理和农业的快速发展, 陕西沔河流域非点源污染负荷在总负荷中所占比重日益加大。本文应用 SWAT 模型, 对沔河流域的径流、泥沙及营养盐污染负荷的产输出过程进行模拟计算。利用沔河干流秦渡镇水文站 2001–2006 年的实测月径流、泥沙和污染物数据进行了模型的率定和验证。验证结果表明: 模型在沔河流域具有较好的适应性, 可用于流域非点源污染的模拟计算。流域非点源污染产出时空分布结果表明: 非点源负荷产出集中在汛期; 流域中部长安区的五星、滦镇、子午地区, 以及流域西部户县的草堂镇和秦渡镇, 是非点源污染产出的关键区域。流域非点源污染控制措施效果模拟表明: 采取水土保持措施、改进化肥施用方式、合理减少施肥量可以有效减少流域非点源污染负荷。

关键词: 非点源污染; SWAT 模型; 关键源区; 沔河流域

中图分类号: X522

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)04-0011-07

Simulation on non-point source pollution based on SWAT model in Fenghe River watershed of Shaanxi Province

LI Jiak, YANG Jingyuan, LI Huaen, SHEN Bing, DU Juan

(Key Lab of Northwest Water Resource and Environment Ecology of MOE,

Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: With the increasing control strength of industrial point source pollution and instant development of agriculture, the proportion of non-point source pollution (NSP) loading occupied total pollution loading in the Fenghe river watershed is rapidly rising. The SWAT model is applied to simulate the producing and transporting process of runoff, sediment and nitrogen non-point source pollution. The monthly obsereal runoff, sediment and pollutant data from 2001 to 2006 at the Qindu town hydrological station in the main stream of the Fenghe river were used to calibrate and verify the model. The results of verification show that the model has good adaptability in the watershed and is available. The NSP loading output analysis on spatial and temporal distribution show that the NSP loading output distributes in flood reason and the critical source areas of NSP loading output are the towns as Wuxing, Luanzhen and Ziwu of the Chang'an County in the middle of the watershed, and the towns as Caotang and Qinduzhen in Huxian County in the west of the watershed. The effect simulation of NSP control measures show that the measures such as soil and water conservation, improving application methods of chemical fertilizer, and reasonably reducing fertilizer volume can effectively decrease NSP loading in the watershed.

Key words: non point source pollution; SWAT model; critical source area; Fenghe river watershed

非点源污染是造成湖泊、水库富营养化的重要原因之一, 河流的水质状况也直接受到非点源污染的影响^[1]。随着点源污染控制水平的提高, 非点源已经成为水环境的重要污染源, 甚至是首要污染源^[2-3]。在北美地区, 总氮非点源负荷一般占总负荷的 33%~63%, 总磷非点源负荷一般占 42%~

59%^[4]。在我国, 随着农业的快速发展和作物产量的逐年提高, 化肥和农药施用量逐渐上升, 其过量使用造成大量化肥和农药随径流或灌溉回归水进入水域, 由此产生的非点源污染负荷比重逐年增加, 对水体产生了严重影响^[5]。20 世纪 70 年代以来, 国内外学者针对非点源污染模拟和估算开发了大量数学

收稿日期: 2012-01-18; 修回日期: 2012-03-28

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项河流主题, 渭河水污染防治专项技术与示范课题(2009ZX07212-002-004-002); 国家自然科学基金项目(50909080); 陕西省自然科学基金项目(2009JQ7008)资助

作者简介: 李家科(1975-), 男, 湖北荆门人, 博士, 副教授, 主要从事非点源污染与水资源保护研究。

模型,其中包括 HSPF (Hydrological Simulation Program – Fortran)、WEPP (Water Erosion Prediction Projection)、AnnAGNPS (Annualized Agricultural Non – Point Source Model) 和 SWAT (Soil Water Assessment Tool) 模型等。其中 SWAT 模型是由美国农业部开发的具有很强物理机制的流域分布式水文模型,可用于径流模拟、土地利用/覆被变化的水文效应、气候变化的水文效应、非点源污染以及水土保持研究等^[6]。SWAT 模型不仅可以模拟非点源污染负荷,还可以对非点源污染关键区进行识别,评价不同管理措施及其效果,因而被广泛应用于世界不同流域^[7-10]。目前,SWAT 模型已在我国黄河流域^[11]、渭河流域^[12]、黑河流域^[13]、官厅水库流域^[4]、密云水库流域^[14]、长江流域^[15]等流域的非点源污染模拟和评价中得到了成功应用。近年来,随着工业点源的大量关闭和农业的快速发展,陕西沔河流域非点源污染负荷所占比重逐渐加大^[16],2009 年(1956 – 2009 系列, $P = 45\%$) 沔河秦渡镇水文站断面以上流域各污染物非点源污染负荷在总负荷中所占比例分别为: COD 35.23%, 可溶磷 73.75%, TP 87.49%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 53.63%, TN 31.16%。因此,本研究选择 SWAT 模型对陕西沔河流域的非点源污染进行分析计算,识别流域内非点源污染流失的主要区域,模拟不同管理措施的实施效果,为该流域非点源污染有效控制提供依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

沔河属黄河流域渭河水系,是渭河右岸的一级支流,长安八水之一,也是西安市第三大河流。沔河发源于西安市长安区喂子坪乡鸡窝子以南的秦岭北侧,流经西安市长安区、户县,咸阳市秦都区等十余

个乡镇,于咸阳北部鱼王村汇入渭河,沔河流域地处东经 $108^{\circ}35'$ ~ $109^{\circ}09'$, 北纬 $33^{\circ}50'$ ~ $34^{\circ}20'$, 南依秦岭山地,北连渭河平原。东西宽约 49.2 km,南北长约 59.5 km,有各级支流 21 条,流域总面积 1 460 km^2 。沔河流域地势总体上表现为东南高、西北低,南边是呈东西走向的秦岭山脉,北麓与广大平原呈断层接触,平原堆积了第四系疏松地层。沔河流域属温带大陆性季风型半干旱、半湿润气候区,多年平均降水量 824.4 mm,多集中在 7 – 9 月。沔河流域平均土壤侵蚀模数为 1 115 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,水土流失面积为 752.1 km^2 ,占流域总面积的 54.5%。沔河干流设有秦渡水文站,在大峪河峪口设有大峪水文站。秦渡镇水文站控制面积 566 km^2 。2005 年流域总人口 66.70 万人,其中城镇人口 9.78 万人。

1.2 基础信息数据库的建立

在运行 SWAT 模型前,需要准备必要的地图和数据库以生成 SWAT 模型输入数据集。模型所需的数据可以分成空间数据和属性数据。空间数据主要包括数字高程模型 (DEM)、土地利用和土壤分布;属性数据包括气象、水文水质、各类污染源调查和农业管理措施等方面的数据。与本文研究相关的流域空间数据和属性数据如表 1 所示。SWAT 模型所需要的空间数据的准备、修改和存储可以通过 ArcGIS 9 等 GIS 软件完成;而降水、温度、土壤等数据则通过多个输入文件以 ASCII 或者 .dbf 格式输入。模型根据土地利用和土壤类型表,将土地利用图、土壤类型图与土地利用和土壤数据库进行链接。

SWAT 模型需要的气象数据包括日平均的降雨量、最高和最低大气温度、太阳辐射、风速和相对湿度等。在本研究中使用了 2001 – 2006 年沔河流域的日平均数据。其中降雨量采用了至今保存较好的斗门、秦渡镇、高桥、王曲、砭子沟、太平峪、仙人岔、

表 1 模型主要输入数据来源

数据类型	数据描述	数据来源
数字高程图 (DEM)	1: 25 万数字高程模拟地形图	国家基础地理信息中心
土地利用	1: 10 万土地利用数据库	中科院地理所
土壤数据	1: 100 万土壤类型分布图,土壤物理及化学属性	中科院南京土壤研究所
气象数据	气象站、雨量站的位置,降雨量、气温等数据	中国气象科学数据共享服务网、黄河流域水文年鉴
水文水质数据	2001 ~ 2006 年秦渡镇水文站日平均流量、日平均含沙量、水质组分数据	黄河流域水文年鉴、西安市环境监测站
流域污染源	生活点源、畜禽养殖、农业面源等	污染源调查、区县年鉴等
农业管理措施	农作物种类,化肥施用方式、种类、数量等	污染源调查、区县年鉴等

石砭峪、新贯寺、青岗树、鸡窝子、邢家岭、煤厂、大峪等 14 个雨量站的监测数据;日最高最低气温、日平均风速、日平均相对湿度等采用西安气象站 2001 – 2006 年的监测数据。采用优势土地利用覆被/优势土壤方法,即把子流域划分为若干个不同土壤类型和土地利用的组合,将土地利用和土壤面积的最小阈值均定为 10%,把沔河流域划分为 28 个水文响应单元(HRUs)。

1.3 SWAT 模型的率定和验证

本研究对模型的月模拟过程进行了率定和验证。参数率定和验证采用沔河干流秦渡镇水文站断面的 2001 – 2006 年实测水量、泥沙和水质数据资料,其中 2001 – 2004 年数据用于率定,2005 – 2006 年数据用于验证。根据秦渡镇水文站断面 2001 – 2006 年氨氮浓度月监测资料和 2003 – 2006 年总磷浓度月监测资料,从月径流中分割出月地表径流,将氨氮和总磷月浓度乘以相应月地表径流近似估算氨氮和总磷月非点源污染负荷实测值。选用模拟值与实测值月均相对误差 (Re)、月模拟值与实测值的相关系数 (R^2) 以及月模拟值与实测值 Nash – suttcliffe 模拟效率系数 (Ens) 来进行率定和验证。由于地表径流影响了泥沙和氮磷输出,泥沙输出影响了吸附态氮磷输出。因此,模型模块的参数率定存在先后顺序,应首先对水文模块进行率定,其次是泥沙侵蚀

模块,最后是氮磷营养盐流失模块。模型在率定之前,先利用自带的敏感性分析模块(采用的是 LH – OAT 敏感性分析方法)进行模型参数的敏感性分析,筛选出最为敏感的参数作为参考,以方便模型的率定。率定的要求为:对于地表径流,尽量控制模拟值与实测值月均相对误差在 20% 以内,月模拟值与实测值相关系数大于 0.6,模拟效率系数大于 0.5;对于泥沙和氮磷污染物,尽量控制模拟值与实测值月均相对误差在 30% 以内,月模拟值与实测值相关系数大于 0.6,模拟效率系数大于 0.5^[3]。模型率定和验证结果(见表 2)表明:径流量模拟效果最好,泥沙、氨氮和总磷的模拟效果令人满意,基本满足率定要求,可用于沔河流域非点源污染模拟。

2 结果与分析

2.1 非点源产出的时间分布特征

以秦渡镇水文站 1956 年 – 2009 年共 54 年实测多年年径流量作为基础数据,采用采用 P – III 型水文频率分析软件对径流量进行频率分析,最终确定沔河流域在 2003 年为丰水年 ($P = 15\%$),2005 年为平水年 ($P = 40\%$),2004 年为枯水年 ($P = 88\%$),运用 SWAT 模型对沔河全流域进行不同代表年非点源污染负荷量计算,结果如表 3。

表 2 模型模拟效率评价 %

模拟期	径流			泥沙			氨氮			总磷		
	Re	R^2	Ens	Re	R^2	Ens	Re	R^2	Ens	Re	R^2	Ens
率定期	17	0.75	0.82	-2	0.60	0.51	-13	0.78	0.75	-22	0.66	0.71
验证期	10	0.70	0.82	33	0.71	0.73	-31	0.75	0.57	-22	0.82	0.57

表 3 不同代表年非点源污染负荷量计算结果 mm, t, kg

水平年	降雨量	泥沙量	氨氮	硝酸盐氮	有机氮	可溶磷	有机磷
丰水年(2003)	1083	171446	70870	247700	13070	44650	3408
平水年(2005)	960	86378	42820	172700	9297	23700	2375
枯水年(2004)	752	58894	22820	98360	4572	15770	1155

由表 3 可见,随降水量和径流量变化,丰水年、平水年、枯水年的泥沙量和非点源污染负荷依次减小,表明泥沙量和非点源污染负荷量的变化趋势和降水量有密切关系。

运用模型对沔河流域 2003 年、2004 年、2005 年 3 个代表年不同月份降雨量、泥沙量和污染物负荷量进行模拟。结果表明,3 年中每年的降雨量、泥沙量和非点源污染物负荷都集中在汛期(6 – 10 月),

其中,2003 年汛期降水量、泥沙量、硝氮负荷、有机氮负荷和有机磷负荷占全年的比例分别为 79%、95%、25%、96% 和 96%;2005 年汛期降水量、泥沙量、硝氮负荷、有机氮负荷和有机磷负荷占全年的比例分别为 82%、92%、65%、92% 和 86%;2004 年汛期降水量、泥沙量、硝氮负荷、有机氮负荷和有机磷负荷占全年的比例分别为 69%、78%、54%、77% 和 88%。同时,无论是泥沙还是污染物的产出,在降雨

较多的月份都比降雨较少的月份多。这符合非点源污染物的产生规律,非点源污染是伴随着降雨径流过程特别是暴雨过程产生的,所以各种非点源污染年内主要在汛期产生,集中在降雨量较大的月份。一般在这段时间内,会有多场大型暴雨发生,随暴雨过程会产生很大的输沙过程。降雨量、径流量和泥沙量是明显正相关的,随着大量水流和泥沙,必然同时也携带大量的非点源污染物。

2.2 非点源氮磷污染负荷的空间分布特征

非点源污染的产生具有很强的空间性,它和研究区内降雨量、土壤特性、土地利用以及地形的有着极其密切的关系。SWAT 模型作为一个分布式模型,结合 GIS 可以研究流域内非点源污染空间分布。本文选择的模拟年份为 2003 年(丰水年)、2004 年(枯水年)和 2005 年(平水年),这 3 年期间沔河流域的土地利用、植被覆盖情况不会有明显大的变化,所以非点源污染负荷的空间变化将由流域内降雨量大小及其在空间上的分布情况决定。以下

以年均为例,对流域内径流、泥沙和氮磷非点源污染的空间变化规律进行分析。

(1)流域内径流的空间分布。图 1 是 2003 年、2004 年、2005 年 3 年平均径流深分布图。径流分布与降雨量呈正相关关系;径流最大的区域集中在上游秦岭周边的山地地区以及流域中部的五星、滦镇、子午,流域东部太乙宫和王莽地区,因为这部分地区的降雨量很大,且地形坡度大,所以相应的径流很大,是主要的集水区域。

(2)流域内泥沙负荷的空间分布。图 2 是 2003 年、2004 年、2005 年 3 年平均泥沙负荷分布图。沔河流域的产沙区主要分布在流域中部长安区的五星、滦镇地区。这些地区靠近秦岭的周边山地,土壤类型主要为棕壤性土、棕壤和褐土(此类土壤可侵蚀性强),地形坡度大于下游地区,土壤侵蚀量大,所以该区域泥沙产出是最大的。下游耕地和居民区地形平坦,土壤侵蚀量小,所以泥沙产量很小。

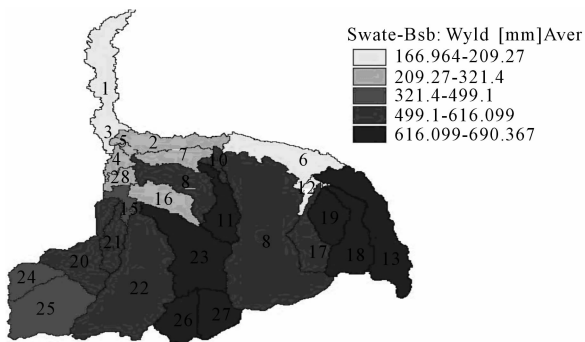


图1 年平均径流深分布图

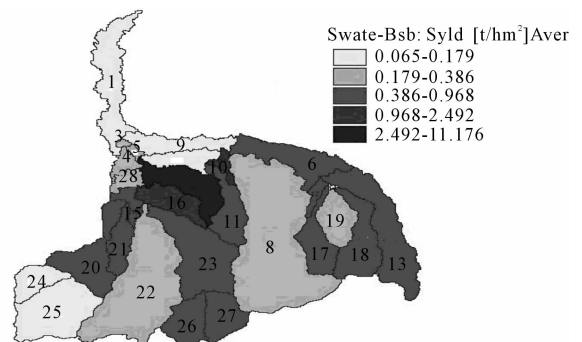


图2 年平均泥沙负荷分布图

(4)流域内有机氮(氨氮)负荷的空间分布。图 3 是 2003 年、2004 年、2005 年 3 年平均有机氮负荷分布图。有机氮负荷分布和泥沙分布情况基本相同。有机氮负荷较大的区域分布在流域中部长安区的五星、滦镇、子午地区,以及流域西部户县的草堂镇和秦渡镇,这些地区是耕地区,对应的土壤类型为棕壤性土、棕壤和褐土。因为氨氮由有机氮直接转化而来,所以氨氮空间分布同有机氮分布。

(5)流域内硝氮负荷的空间分布。图 4 是 2003 年、2004 年、2005 年 3 年平均硝氮负荷分布图。硝氮负荷比较大的地区集中在流域中部长安区的东大、五星、滦镇、子午、黄良,流域西部户县的草堂镇和秦渡镇,以及流域东部太乙宫和王莽地区,这些地区是主要的耕种区且降水量也很大,所以硝氮负荷比较大。

(6)流域内有机磷负荷的空间分布。图 5 是 2003、2004、2005 年 3 年平均有机磷负荷分布图。流域有机磷负荷与泥沙分布大致相同。有机磷负荷较大的区域分布在流域中部长安区的五星、滦镇、子午地区,以及流域西部户县的草堂镇和秦渡镇地区,这些地区是耕地区,对应的土壤类型为棕壤性土、棕壤和褐土。

(7)流域内可溶磷负荷的空间分布。图 6 是 2003 年、2004 年、2005 年 3 年平均可溶磷负荷分布图。流域可溶磷负荷主要分布在流域西部户县的秦渡镇、中部长安区的五星、滦镇、子午、东大、细柳地区以及西部户县的草堂镇。可溶磷主要由降雨产生的地表径流带出,其产出和径流有关系,这些地区的径流量比较大,所以随之产生的可溶磷负荷也比较大。

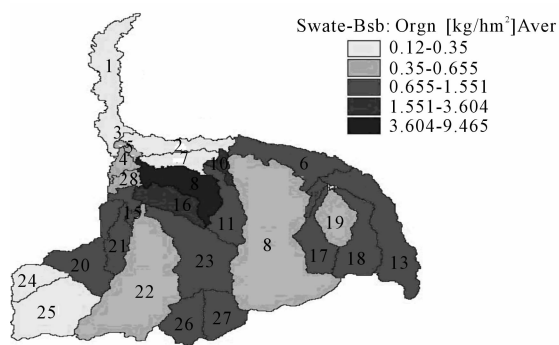


图 3 年平均有机氮负荷分布图

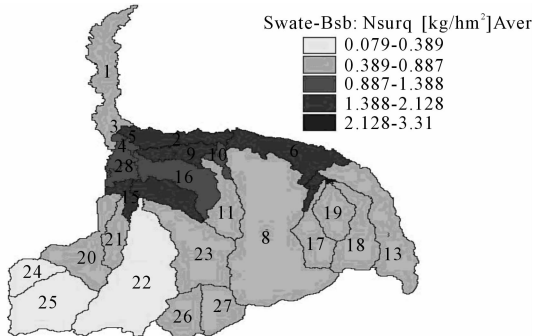


图 4 年平均硝氮负荷分布图

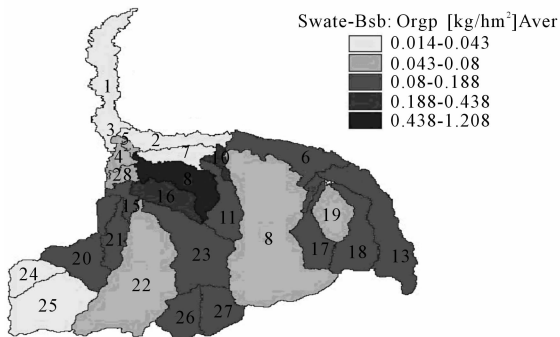


图 5 年平均有机磷负荷分布图

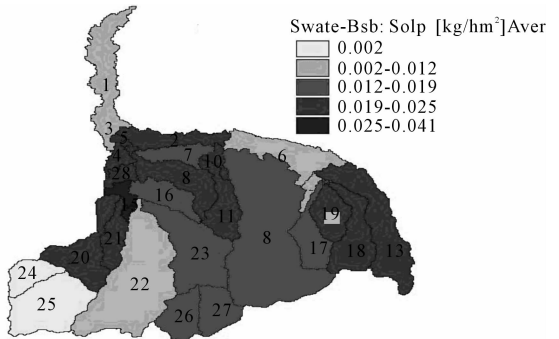


图 6 年平均可溶磷负荷分布图

从以上分析可以看出,氮磷非点源负荷与降雨密切相关,但土地利用、土壤类型、农业活动等因素都对氮磷非点源负荷产出有影响,并不是单一由降雨决定。此外,氮磷非点源负荷分布和泥沙负荷分布有很好的相关性,这说明控制沔河流域水土流失,减少土壤侵蚀可以减少氮磷非点源负荷产出。另外,沔河上游各种娱乐场所排放的生活污水等和中下游居民养殖、耕地的化肥施用都是沔河流域氮磷非点源污染控制的重点。

2.3 沔河流域非点源管理措施情景模拟

2.3.1 情景分析方案设定 沔河流域的非点源污染主要来自土壤侵蚀、农田化肥流失,建立以下 3 种情景,进行不同管理措施对流域非点源污染负荷产出控制效果的模拟,见表 4。

表 4 流域内情景模拟方案		
情景	情景设定	说 明
情景 1	流域内采取水土保持措施,减小 USLE_P	水土保持措施可以减少非点源污染
情景 2	改进化肥施用方式	减小表层土壤施肥量占总施肥量的比例
情景 3	改变化肥施用量	减少农田化肥施用量,合理施肥

情景 1:采取水土保持措施,改变 USLE 方程中的水土保持因子 USLE_P,该因子是指特定保持措

施下的土壤流失量与相应未实施保持措施的顺坡耕作地块的土壤流失量之比,USLE_P 取值在 0~1 之间,其值越大说明水土流失越严重,反之则说明水土流失越少。对农田采取水土保持措施可以减少径流量,减轻土壤侵蚀,从而减少流域非点源污染。本文设定开始未采取水土保持措施,USLE_P 取值为 1,情景 1 情况下设定 USLE_P 取值为 0.8。

情景 2:减小表层土壤(0~10 mm)施肥量占总施肥量的比例,基准情况下表层土壤施肥量占总施肥量的 20%,在情景 2 中减小为 10%。

情景 3:基于合理施肥的考虑,将农田施肥量减少。根据陕西省统计年鉴资料,沔河流域 2003~2005 年化肥施用量分别为 730 kg/hm²、760 kg/hm²、794 kg/hm²,基于合理施肥的考虑,将流域各年农田施肥量减半。

2.3.2 不同情景模拟结果分析 根据表 4 所设定的 3 种情景对沔河流域 2003 年~2005 年进行不同管理措施的效果模拟,流域出口非点源污染负荷模拟结果见表 5~表 7。

(1)情景 1 中 2003 年~2005 年各年的 TN、TP 和 NH₃-N 负荷输出量都得到较大幅度的削减,通过在沔河流域采取水土保持措施,可以减少径流量、降低流域土壤侵蚀程度,从而减小溶解态和吸附态氮磷污染物输出,达到非点源污染控制的效果。

表 5 不同情景下 TN 非点源污染负荷模拟结果 kg, %

情景	年份	初始值	情景值	变化量	变化率
情景 1	2003	366710	325210	-41500	-11.32
	2004	134994	121356	-13638	-10.10
	2005	243707	223528	-20179	-8.28
情景 2	2003	366710	365711	-999	-0.27
	2004	134994	134066	-928	-0.69
	2005	243707	242501	-1206	-0.49
情景 3	2003	366710	363251	-3459	-0.94
	2004	134994	131503	-3491	-2.59
	2005	243707	239141	-4566	-1.87

表 6 不同情景下 TP 非点源污染负荷模拟结果 kg, %

情景	年份	初始值	情景值	变化量	变化率
情景 1	2003	48058	39491	-8567	-17.83
	2004	16925	14090	-2835	-16.75
	2005	26075	21839	-4236	-16.25
情景 2	2003	48058	47872	-186	-0.39
	2004	16925	16725	-200	-1.18
	2005	26075	25823	-252	-0.97
情景 3	2003	48058	47356	-702	-1.46
	2004	16925	16209	-716	-4.23
	2005	26075	25111	-964	-3.70

表 7 不同情景下 NH₃-N 非点源污染负荷模拟结果 kg, %

情景	年份	初始值	情景值	变化量	变化率
情景 1	2003	70870	58360	-12510	-17.65
	2004	22820	19680	-3140	-13.76
	2005	42820	36300	-6520	-15.23
情景 2	2003	70870	70501	-369	-0.52
	2004	22820	22580	-240	-1.05
	2005	42820	42406	-414	-0.97
情景 3	2003	70870	69465	-1405	-1.98
	2004	22820	21929	-891	-3.90
	2005	42820	41254	-1566	-3.66

(2)情景 2 的结果表明,改变施肥方式、减少施用于土壤表层的各种化肥量的比例对减少流域氮磷非点源污染负荷有一定的作用。土壤侵蚀是氮磷非点源污染进入河流水体的一个重要途径,越接近地表非点源污染物越容易随土壤侵蚀而流失。研究发现^[17],施肥深度对浓度峰值的深度影响显著,施肥深度越大,养分浓度的峰值出现的位置越深,化肥(如 K 和 P 肥)深施在作物根系生长区可以更有效的发挥肥效,同时养分不容易随水土流失,但对于可溶性的 NO₃-N 等,施肥位置不能太深,否则将导致养分流失及污染地下水。因此在实际施肥实践中,

需要根据施肥特点及作物的不同,合理选择施肥方式。

(3)情景 3 中 2003 年-2005 年各年的 TN、TP 和 NH₃-N 负荷都得到一定量的减小,这说明合理施肥,减少农田化肥施用量有利于减少水体非点源污染,可以保护河流水质。施肥作为世界粮食生产的基本投入和主要增产因子已为越来越多的人所理解和承认,但只有当作物遗传潜力、综合的最佳土、肥、水管理及其它保护措施合理利用时,产量才能提高,过量施用化肥反而会影响农产品品质。同时,在化肥施用过量的情况下,如果采用大水漫灌的方法,会将氮淋洗到地下深层土壤中,甚至地下水中,造成地下水源污染和河、湖水系的氮富集。所以为了减少流域非点源污染,应该进行科学合理的施肥。

3 讨 论

SWAT 模型在世界范围内的广泛应用表明了它是一个通用模型,可用于模拟多种环境过程,为流域管理提供了决策支撑。但由于用户的需求和科学的发展,模型需要进一步改进与完善,提高其模拟精度,增加新的功能,扩大模拟的范围^[18]。如模型 HRUs 的划分是土壤类型和土地利用类型及坡度的简单叠合,与在流域内的空间位置没有关系,这就忽略了各个水文响应单元之间水、沙及营养物质的运移,如何将 HRUs 之间的水流、泥沙运移和营养物质迁移考虑进来应成为模型改进的方向之一。河流演算需要进一步测试与完善,包括 QUAL2E 演算。改进河道物化和泥沙沉积演算,能更好的描述泥沙运输并解释营养物负荷与泥沙运动的联系。目前 SWAT 假设土壤有机碳含量是不变的,应更新碳循环子模块,以更切合实际地描述碳循环过程。我国应用 SWAT 模型还存在诸多问题。SWAT 模型的构建需要大量的数据支持,在发达国家这些数据一般都可以免费得到,而我国对非点源污染的研究起步较晚,缺乏非点源污染完善的监测机制和制度,数据资料不完备,共享程度低;另外,我国与美国采用的土壤、植被的分类体系不同,数据不能直接利用,很多数据精度也不够高,甚至有些地区数据大量缺失进而影响了模型预测结果,这给 SWAT 模型的推广带来了很大的阻碍,从而制约了我国非点源污染问题的研究。

4 结 语

(1)SWAT 模型在流域数据库的支持下,对我国

西北半干旱半湿润地区中尺度流域(沔河流域)径流、泥沙和非点源污染模拟具有较好的适应性和可靠性。

(2)流域非点源污染的产输出与当年的降雨、径流量及其分布有很大的关系,泥沙和氮污染物产输出在丰水年最大,平水年次之,而枯水年则最小。一般情况下,沔河流域降雨多集中在汛期(6-10月),泥沙和氮污染物的产输出也多集中在这期间。

(3)流域氮磷非点源负荷分布和泥沙负荷分布有很好的相关性,因此控制水土流失是减轻流域营养物负荷的重要途径。流域中部长安区的五星、滦镇、子午地区,以及流域西部户县的草堂镇和秦渡镇,是沔河流域氮磷非点源污染控制的重点区域。

(4)采取水土保持措施、改进化肥施用方式和合理减少施肥量可以有效减少流域非点源污染负荷。

应积极植树造林、种草,退耕还林,加强水土流失区治理,减小土壤侵蚀;同时,要合理施肥,改进化肥施用方式,减少化肥施用量。

(5)对 SWAT 模型本身的进一步完善及提高模型所需数据的精度和共享程度是国内应用研究 SWAT 模型的难题。

参考文献:

- [1] 李怀恩. 估算非点源污染负荷的平均浓度法及其应用[J]. 环境科学学报, 2000, 20(4): 397-400.
- [2] 李强坤, 李怀恩, 孙娟, 等. 基于有限资料的水土流失区非点源污染负荷估算[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5): 181-185.
- [3] 李家科, 李怀恩, 李亚娇, 等. 基于 AnnAGNPS 模型的陕西黑河流域非点源污染模拟[J]. 水土保持学报, 2008, 22(6): 81-88.
- [4] 于涛, 孟伟, Edw in Ongley, 等. 我国非点源负荷研究中的问题探讨[J]. 环境科学学报, 2008, 28(3): 401-407.
- [5] 刘博, 徐宗学. 基于 SWAT 模型的北京沙河水库流域非点源污染模拟[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 52-61.
- [6] 梁小军, 江洪, 王可, 等. 基于 SWAT 模型的岷江上游干旱河谷区水文特征情景模拟研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(8): 79-84.
- [7] Abbaspour K C, Yang J, Maximov I, et al. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT[J]. Journal of Hydrology, 2007, 333: 413-430.
- [8] Santhi C, Arnold J G, Williams J R, et al. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and non-point sources[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2001, 37(5): 1169-1188.
- [9] 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(8/9/10): 497-507.
- [10] 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(1/2/3/4): 62-72.
- [11] Hao F H, Zhang X S, Yang Z F. A distributed non-point source pollution model: calibration and validation in the Yellow River Basin [J]. Journal of Environmental Sciences, 2004, 16(4): 646-650.
- [12] 李家科, 刘健, 秦耀民, 等. 基于 SWAT 模型的渭河流域非点源氮污染分布式模拟[J]. 西安理工大学学报, 2008, 24(3): 278-285.
- [13] 郝芳华, 程红光, 杨胜天. 非点源污染模型——理论方法与应用[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [14] Xu Z X, Pang J P, Liu C M, et al. Assessment of runoff and sediment yield in the Miyun Reservoir catchment by using SWAT model [J]. Hydrological Process, 2009, 23(25): 3619-3630.
- [15] 沈珍瑶, 刘瑞民, 叶闽, 等. 长江上游非点源污染特征及其变化规律[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [16] 李家科, 李怀恩, 董雯, 等. 渭河关中段典型支流非点源污染监测与负荷估算[J]. 环境科学学报, 2011, 31(7): 1470-1478.
- [17] 史晓楠, 王全九, 黄国琴. 施肥方式对土壤水肥分布特征影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 191-196.
- [18] 张蕾, 卢文喜, 安永磊, 等. SWAT 模型在国内外非点源污染研究中的应用进展[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2387-2392.