

基于 ReNuMa 模型的长春石头口门水库 流域非点源污染负荷模拟

刘敏¹, 谢阳村², 王东², 赵越², 沙健¹, 王玉秋¹

(1. 南开大学 环境科学与工程学院, 天津 300071; 2. 环境保护部环境规划院, 北京 100012)

摘要: 应用区域营养盐管理模型 ReNuMa, 以长春市饮马河石头口门水库流域为研究对象开展研究, 通过对流域总氮非点源污染的调查和模拟, 定量计算和分析了总氮非点源污染时空分布规律。结果表明: 该模型在研究区域适用性较好(月径流校准期 $R^2 = 0.7884$, $Ens = 0.7816$; 验证期 $R^2 = 0.7602$, $Ens = 0.7092$; 月负荷校准期 $R^2 = 0.7429$, $Ens = 0.7008$; 验证期 $R^2 = 0.7066$, $Ens = 0.6618$)。时间尺度上, 雨季期总氮非点源污染负荷占总量的 69%。空间尺度上, 饮马河上游流域对非点源污染负荷比例最大, 不同土地利用类型的总氮非点源污染负荷不同, 耕地贡献比例最大, 其次是农村居民点。

关键词: ReNuMa; 总氮; 非点源污染; 污染源解析

中图分类号: X524

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)06-0070-03

Simulation of non-point source pollution in the watershed of Shitoukoumen reservoir based on ReNuMa model

LIU Min¹, XIE Yangcun², WANG Dong², ZHAO Yue², SHA Jian¹, WANG Yuqiu¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China;

2. Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China)

Abstract: In this study, ReNuMa was applied to stimulate the non-point source pollution loading of total nitrogen in the upstream watershed of the Shitoukoumen Reservoir, which is the most important drinking water source of Changchun. Temporal and spatial distributions of non-point TN pollution have been calculated and analyzed quantificationally through the investigation and simulation. On the temporal scales, TN loading during the rainy seasons accounted for 69%. At the spatial scales, the watershed of Yinma River had the highest ratio of TN loading to the total and farmlands contribute the highest NPS loading.

Key words: ReNuMa; total nitrogen; non-point source pollution; pollution source apportionment

近年来, 水体富营养化问题日趋严重。随着点源污染控制技术的提高, 非点源污染已成为当今水环境污染的主要污染源^[1]。非点源污染具有不确定性强、时空差异大、涉及范围广及作用过程复杂、不易监测等特点, 因此研究其污染规律对有效的治理和控制非点源污染是非常必要的。定量研究非点源污染规律, 并依此进行污染源解析是目前研究的重点, 在相关领域, 模型技术已得到广泛应用。

GWLF 模型是 1987 年 Haith 和 Shoemaker 设计开发的, 目前该模型的不同版本已经广泛应用到流域的径流产出、营养盐负荷预测和非点源污染解析^[2-8]等诸多方面。基于 GWLF 模型, 康奈尔大学

Bongghi Hong 和 Dennis P. Swaney 设计开发了区域营养盐污染负荷模型 ReNuMa (Regional Nutrient Management), 模型部分基于月质量平衡, 利用简单的径流、沉积物和地下水流关系进行模拟。在美国东北部开展的 16 个验证性研究显示, 模型能够在流域尺度上再现水流及氮通量的季节性或年度特征。

本文选取 ReNuMa 模型, 对长春市饮用水水源地石头口门水库流域进行污染负荷评估, 并评估各子流域的贡献率, 进行污染源解析, 探讨流域总氮非点源负荷的时空分布规律, 从而为流域非点源治理提供决策支持。

收稿日期: 2012-07-09; 修回日期: 2012-07-29

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项资助项目(2008ZX07631-001); 水污染防治综合项目(2012A012)

作者简介: 刘敏(1988-), 女, 河南濮阳人, 硕士研究生, 主要从事流域地表水环境模型研究。

通讯作者: 王玉秋(1965-), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 教授, 博士生导师, 主要从事水环境管理决策与技术支持, 流域及水源地保护战略等研究。

1 研究区概况

石头口门水库位于第二松花江的较大支流饮马河中游,见图 1,水库汇水区(125°22′~126°31′E, 42°59′~44°3′N)位于吉林省中部低山丘陵区 and 台地地带,流域面积 4 568 km²。流域内农业发达,耕地面积比例约为 53%。地势南高北低,水系流向由南向北。流域属中温带半湿润大陆性季风气候区,降水多集中于 6-9 月份,时空分布不均匀。研究区内主要有 3 条河流:饮马河、双阳河和岔路河。



图 1 石头口门水库上游汇水区

2 研究方法

2.1 模型数据库建立

ReNuMa 模型通过设置众多参数运行,这些参数重点描述了流域特征、土地利用和管理特征。ReNuMa 模型所需输入数据包括基础环境数据、水量数据、水质数据、沉积物数据等。基础环境数据包括 DEM 数据、土地利用信息和气象数据等。本研究根据流域内河流及水文站点分布,基于 ArcGIS9.3 平台采用 Arc Hydro 模型进行流域特征提取,见图 2^[9-10]。

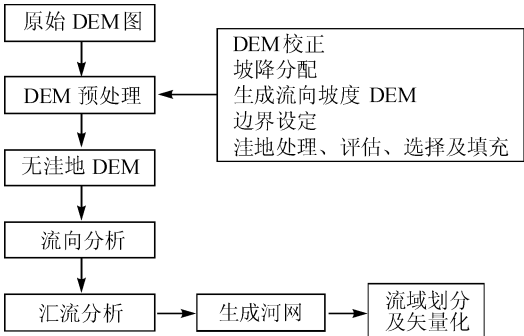


图 2 Arc Hydro 模型提取流域特征流程

基于上述数据集,录入 ReNuMa 模型所需数据。对于目标值缺失的参数,首先按照模型手册中规定的推荐值录入,调试运行,实现模型的顺畅运行。

2.2 模型参数校准与验证

本研究采用数据相对较全的子流域进行参数校准,先校准水文传输参数再校准营养盐参数。采用子流域相关参数,对石头口门水库上游汇水区进行模拟验证,并分别模拟双阳河、饮马河上游、星星哨三个水系的径流产出和总氮负荷。采用相关系数 R^2 和 Nash-Sutcliffe 模拟效率系数评价模型模拟结果。相关系数 R^2 用于评价实测值与模拟值之间的吻合程度,由实测值和模拟值按照线性函数 $y = kx$ 经回归分析得到。Nash-Sutcliffe 模拟效率系数 (Ens) 的计算公式为:

$$Ens = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{mean})^2}$$

式中: O_i 为实测值, P_i 为模拟值, O_{mean} 为实测算术平均值。 Ens 取值越接近 1,实测值与模拟值匹配度越好。通常认为相关系数 R^2 大于 0.6 或 Ens 大于 0.5 时^[11],模型模拟效果较好。

对于水文和营养盐参数,采用长岭站和烟筒山站 2006-2008 年的逐月平均监测数据进行校准,2009 年逐月平均监测数据作为验证。径流校准期 R^2 为 0.7884, Ens 为 0.7816(图 3);验证期 R^2 为 0.7602, Ens 为 0.7092。总氮负荷校准期 R^2 为 0.7429, Ens 为 0.7008;验证期 R^2 为 0.7066, Ens 为 0.6618(图 4)。月尺度上模拟值与实测值拟合效果较好。

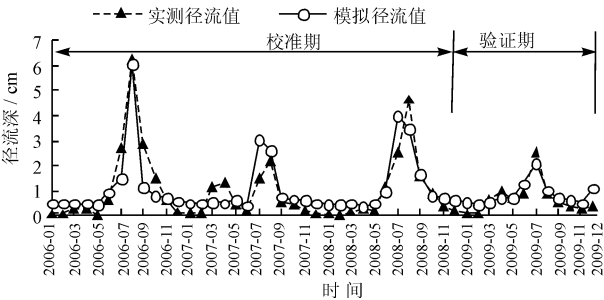


图 3 校准子流域月均模拟径流深与实测径流深比较

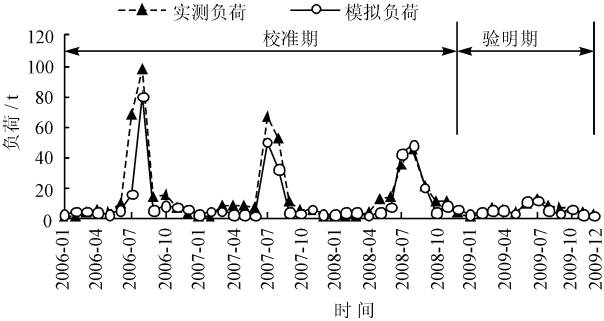


图 4 校准子流域月均模拟总氮负荷与实测总氮负荷比较

采用校准子流域参数,对石头口门水库上游汇水区进行径流和总氮负荷模拟。由于总氮监测数据

缺失,仅验证月均径流, R^2 为 0.6308, Ens 为 0.5547 (图 5)。

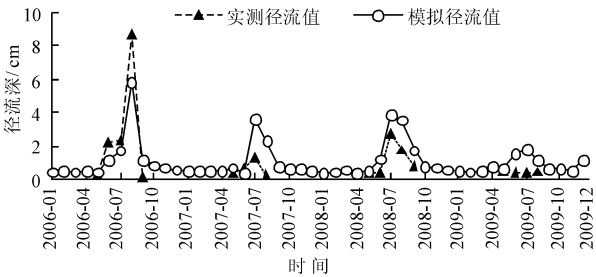


图 5 研究区域月均模拟径流深与实测径流深比较

3 结果分析

3.1 总氮非点源污染负荷时间分布

研究区域总氮负荷及降水量随时间的变化如图 6 所示。由图可知,降水集中在 6-9 月份,降水量占全年降水的 76%,多雨季总氮负荷占研究期总氮负荷的 69%,总氮负荷与降水量变化呈现较明显的正相关关系。降雨径流的冲刷是产生非点源污染的动力^[12],由于地表径流的产生,非点源污染物进入受纳水体。降水量对径流影响较大,同时对污染负荷也有较大的影响。因此,每年的雨季期(6-9 月)是总氮非点源污染扩散的重要时期。

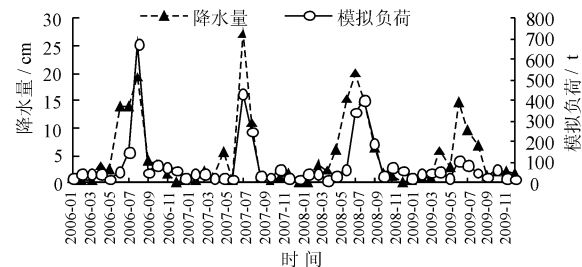


图 6 研究区域总氮负荷及降水量时间变化图

3.2 总氮非点源负荷空间分布

根据模型输出结果,计算出各种土地利用类型总氮平均污染负荷,得到各种土地利用类型的贡献率。其中,对石头口门水库非点源总氮贡献最大的为耕地,贡献率达 74%;其次是农村居民点,贡献率达 21%。耕地和农村居民点贡献率较大是因为这两种土地利用类型人为干扰较大。为了提高农业生产力,大量化肥用于农业生产活动;且在相同降雨与径流的冲刷下,相比其他土地利用类型,耕地的产流量高,总氮流失多。

水库汇水区各水系流域(饮马河上游流域、双阳河流域以及岔路河流域)对石头口门水库汇水区总氮污染负荷的贡献比例分别为 42%、33% 和 25%。这与 3 个水系流域的土地利用是相关的。双

阳河流域、饮马河上游流域和岔路河流域的各土地利用类型面积比例如表 1 所示。

表 1 各水系流域不同土地利用类型面积 hm ²			
	饮马河上游 流域面积	双阳河 流域面积	岔路河 流域面积
耕地	112149.27	96659.95	33758.00
林地	89180.32	19340.47	64813.61
农村居民点	9867.08	11614.07	4289.49
其他	7914.75	4511.25	2701.78
总和	219111.43	132125.74	105562.88

由表 1 可知,饮马河上游流域面积和耕地面积都是最大的,降水时水土流失相对严重,总氮非点源污染负荷最大;双阳河流域耕地面积比例很大,是老农业种植区,土地开发程度深,总氮流失负荷相对较大;岔路河流域耕地面积相对较小,林地面积较大,总氮流失负荷相对较小。

4 结 语

(1)本文采用的 ReNuMa 模型,是中尺度流域负荷模型,数据需求量相对较小,适于我国现阶段国情。模型模拟精度较好,可以分析模拟流域水文产流量过程及评估流域氮磷污染负荷量。

(2)在时间尺度上,雨季期的总氮负荷占 69%;在空间尺度上,农业生产活动及农村生活产生的总氮非点源污染负荷占绝对比例,即人类活动对自然环境有较大干扰。

(3)研究区域水文水质资料较少,一定程度上会增大模型的不确定度,因此建议增加一定数量的水文、水质监测断面,以提高模型模拟精度提供更加可靠的科学决策支持信息。

参考文献:

[1] Arnold J G, Allen P M, Bernhardt G. A comprehensive surface-groundwater flow model[J]. Journal of Hydrology. 1993(1):47-69.

[2] Elliot M Schneiderman, Donald C Pierson, et al. Modeling the hydrochemistry of the Cannonsville watershed with generalized watershed loading functions (GWLF) [J]. Journal of the American Water Resources Association. 2002 (10):1323-1347.

[3] Kuang Yao Lee, Thomas R Fisher, et al. Modeling the hydrochemistry of the Choptank River Basin using GWLF and Arc/Info: 1. Modelcalibration and validation [J]. Biogeochemistry, 2000, 49:143-173.

自身的特性,选取水量平衡模型,在窟野河流域做了降雨-径流水文模拟。

(2)利用黄土高原典型流域窟野河流域 1983 年以前的水文、气象资料对所选用的模型模拟进行水文模拟。

(3)在分析目前水文模拟评价的基础上,同时参考水文预报规范,确定评价指标和标准为 Nash-Sutcliffe 效率系数和年径流相对误差。结果显示:Nash-Sutcliffe 效率系数大于 0.7,多年平均相对误差也控制在 6% 之内。月水量平衡模型参数少,结构简洁。着手从模型的模拟效果、易操作性和对资料的要求综合考虑,择优选用集总式月水量平衡模型开展未来气候变化对径流量的影响研究。

参考文献:

- [1] WMO. Intercomparison of models of snowmelt runoff, operational hydrological report No. 23[R]. Geneva, Switzerland, 1986.
- [2] Thornthwaite C W. An Approach Toward A Rational Classification of Climate[J]. Geographical Review, 1948, 38(1): 55-94.
- [3] Thornthwaite C W, Mather J R. The Water Balance[J]. Climatol Lab Publ. Climatol. Drexel Inst. Technol. 1955, 8(1): 1-104.
- [4] Palmer W C. Meteorologic Drough[M]. U S Weather Bureau Research Paper, 1965.
- [5] Thomas H A. Improved methods for national water assessment [C]// Reesour. Counc., Washington, D. C., 1981.
- [6] Walter C Boughton. Water balance models on the arid region in australian[J]. Soil and Water Conservation, 1995, 8(1): 1-104.
- [7] 熊立华, 郭生练, 王渺林, 等. 两参数月水量平衡模型的研制及应用[J]. 水科学进展, 1996, 7(增刊): 80-86.
- [8] 胡安焱, 郭生练, 熊立华, 等. 三参数月水量平衡模型及其应用[J]. 水电能源科学, 2008, 26(4): 8-10.
- [9] 郭生练. 气候变化对东江流域水文的影响. 中国博士后首届学术大会论文集[C]//北京:国防工业出版社, 1992.
- [10] 郭生练, 王国庆. 半干旱地区月水量平衡模型[J]. 人民黄河, 1994, 17(12): 13-16.
- [11] 张建云, 王国庆, 等. 气候变化对水文水资源影响研究[M]. 北京: 科技出版社, 2007. 68-70.
- [12] 英爱文, 姜广斌. 辽河流域水资源对气候变化的响应[J]. 水科学进展, 1997, 15(7): 67-72.
- [13] 陈利群, 刘昌明, 李发东. 基流研究综述[J]. 地理科学进展, 2006, 28(6): 323-329.
- [14] 谢平, 陈广才, 雷红富. 变化环境下基于趋势分析的水资源评价[J]. 水力发电学报, 2009, 28(4): 14-18.
- [15] 谢平, 郑泽权. 水文频率计算有约束加权适线法[J]. 武汉大学学报(工学版), 2000, 33(1): 49-52.
- [16] 苏凤阁, 谢正辉. 气候变化对中国径流评估模型研究[J]. 自然科学学报, 2003, 13(5): 502-507.
- [17] Houghton H A. CARR. assessent criteria for simple conceptual daily rainfall-runoff models[R]. 1996.
- [18] Wang Wen. Stochasticity, nonlinearity and forecasting of streamflow process [D]. PHD dissertation of TUDELFT, Netherlands, 2006.
- [19] Nash J E, Sutcliffe J. River flow forecasting trough conceptual models, Part1, A discussion of principles[J]. Journal of Hydrology, 1970, (10): 282-290.
- [20] Edijatno, Nilo De Oliveira Nascimento, YANG XiaoLiu. GR3J: a daily water shed model with three parameters[J]. Hydrological Sciences Jounal, 1999, 13: 135-142.

(上接第 72 页)

- [4] Kuang Yao Lee, Thomas R Fisher, et al. Modeling the hydrochemistry of the Choptank River Basin using GWLF and Arc/Info: 2. Model calibration and validation [J]. Biogeochemistry, 2001, 56: 311-348.
- [5] Swaney D P, Sherman D, Howarth R W. Modeling water, sediment and organic carbon discharges in the Hudson-Mohawk basin: Coupling to terrestrial sources [J]. Estuaries. 1996(4): 833-847.
- [6] Ning S K, Jeng K Y, Chang N B. Evaluation of non-point sources pollution impacts by integrated 3S information technologies and GWLF modeling [J]. Water Science and Technology, 2002(6-7): 217-224.
- [7] Eleanor Jennings, Norman Allott, Donald C Pierson, et al. Impacts of climate change on phosphorus loading from a grassland catchment: Implication for future management [J]. Water Research. 2009, 17: 4316-4326.
- [8] 何因, 秦保平, 李云生, 等. GWLF 模型的原理、结构及应用[J]. 城市环境与城市生态, 2009(6): 24-27.
- [9] Maidment D R. Arc Hydro: GIS for water resources [M]. ESRI. 380 New York Street, Remands. California, 2002: 59-107.
- [10] 石春力, 李雪, 孙韧, 等. Arc Hydro 模型在流域水文特征提取中的应用——以蓟县沙河流域为例. 水资源与水工程学报, 2012, 23(1): 73-80.
- [11] Moriasi D N, Arnold J G, Van Liew M W, et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations[J]. Amer Soc Agricultural & Biological Engineers, 2007(5): 889-891.
- [12] 李怀恩, 沈晋, 刘玉生. 流域非点源污染模型的建立与应用实例[J]. 环境科学学报, 1997, 17(2): 141-144.