

基于MIKE模型的氮磷流失量估算及建议

袁素涓,方烨婷,秦娟,廖志鹏,张彦,石健*

(南通大学化学化工学院,江苏南通 226019)

摘要:围绕汛期河道水环境质量波动问题,选取南方长江下游典型河道某考核断面为典型研究单元,对土壤氮磷污染情况展开调查研究。并在此基础上构建研究区域典型河段的水动力和水质耦合模型,结合同步监测数据进行参数率定及验证,分析TP、TN的污染特征并核算其对河道氮磷污染的贡献率,旨在为污染管控及河道科学治理提供理论支持。

关键词:MIKE模型;氮磷流失量;水环境;河道

中图分类号:TV663

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)04-0055-0003

Estimation and suggestions of nitrogen and phosphorus loss based on MIKE Model

YUAN Sujuan, FANG Yeting, QIN Juan, LIAO Zhipeng, ZHANG Yan, SHI Jian
(Chemistry and Chemical Engineering, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: Focusing on the fluctuation of river water environment quality during the flood season, a typical section of a typical river in the lower reaches of the Yangtze River in the south was selected as a typical research unit to investigate the soil nitrogen and phosphorus pollution. On this basis, a coupling model of hydrodynamic and water quality was constructed for typical river reach in the study area, and parameter calibration and verification were carried out combined with synchronous monitoring data. Pollution characteristics of total phosphorus and total nitrogen were analyzed and its contribution rate to river nitrogen and phosphorus pollution was calculated, providing theoretical guidance for pollution control and scientific river management.

Key words: MIKE Model; nitrogen and phosphorus loss; water environment; river channel

1 概 述

近年来,我国在水资源治理上提出了新思路,《水污染防治行动计划》规定:未达到水质目标要求的地区要制定达标方案,将治污任务逐一落实到

汇水范围内的排污单位,明确防治措施及达标时限^[1]。为保障考核断面达标,部分学者^[1-3]研究了降水对断面水质的影响,发现断面水质与降水频率、强度和水体周边环境等有关。降雨和径流是氮磷流失的首要条件,同时降雨会携带大量污染物进入

收稿日期:2023-02-17

基金项目:江苏省水利厅项目(2020043);南通市指导性科技项目(JCZ20044)

作者简介:袁素涓(1998—),女,硕士研究生,研究方向为水污染治理。E-mail:ysj18806291772@163.com

通信作者:石健(1972—),女,教授,博士,研究方向为工业废物资源化利用工业废水处理技术。E-mail:shi.j1@ntu.edu.cn

水体,造成雨期水质比雨前更差。氮(N)、磷(P)等污染物随降雨或灌溉进入水体,造成水体富营养化比重逐年增加、有毒藻类质量浓度的增加和水体氧气的枯竭。因此,了解不同途径和来源的N、P排放,不仅是保护水质和可持续发展的内在要求,也是缓解N、P污染的关键^[4]。汛期水质变化及其影响因素的研究较少,本文对水体汛期断面水质变化特征及原因进行分析,为断面水质和汛期水环境治理提供科学支撑。

本文以长江下游典型河道某考核断面为典型研究单元,结合 MIKE 模拟软件构建典型河段水动力-水质耦合模型,结合同步监测数据进行参数率定及验证,获取土壤TP和TN的污染特征并核算其对河道氮磷污染的贡献率。最后,理清水污染防治过程中存在的问题,研究适合的管控措施。

2 基于水环境模型耦合的污染估算方法

本文采用丹麦水利研究院开发的 MIKE 11 一维模型对研究区域河流水动力水质进行模拟研究。其主要模块有水动力(HD)模块、非黏性泥沙输运(ST)模块、对流扩散(AD)模块和水质(ECO Lab)模块等。

水动力计算的控制方程采用一维非恒定流的圣维南方程组模拟河口、河流和河网的水流状态,包括连续性方程和动量方程,并补充考虑了漫滩和旁侧入流:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b \frac{\partial h}{\partial t} = q \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} \quad (1)$$

式中: Q 为流量; x 为沿水流方向空间坐标; b 为调蓄宽度; h 为水位; t 为时间坐标; q 为旁侧入流流量,入流为正,出流为负; α 为动量校正系数; A 为主槽过水断面面积; g 为重力加速度; C 为谢才系数; R 为水力半径。方程组利用六点隐式有限差分格式(Abbott-lonescu)求解。

对流扩散模块的控制方程是对河流中的溶解物或悬浮物的对流扩散过程进行模拟的模块:

$$\frac{\partial A\rho}{\partial t} + \frac{\partial Q\rho}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) = -AK\rho + C_2q \quad (2)$$

式中: x 为沿水流方向空间坐标; t 为时间坐标; Q 为流量; ρ 为物质质量浓度; A 为主槽过水断面面积; D 为纵向扩散系数; K 为线性衰减系数; C_2 为源汇质量浓度; q 为旁侧入流流量。对流扩散方程的数值解法采用六点隐式差分格式和追赶法求解。

3 MIKE 模型的搭建

3.1 河道概化和河道断面设置

对研究区域河道进行概化,根据地形条件及水流情况,概化河道为水平底坡和梯形断面,河道纵比降通过控制断面的高程进行控制,并根据模型需要进行适当平顺处理。

实测断面资料按照文本格式导入 MIKE11 模型。为了保证模型计算过程中的稳定性和空间步长的合理性,对于断面间距比较大的,利用相邻断面的资料,按 500 m 的距离进行插值,时间步长取 60 s。

3.2 模型的参数及率定

模型率定的方法是调整河床糙率值(曼宁系数),使水位和流量的模拟值与实测值尽量吻合^[5]。本文获取了某站点 2021 年 2 月 5 日至 6 月 9 日部分日流量和水位数据,并结合例行监测和同步监测数据,对耦合的陆-河嵌套水环境数学模型进行水动力水质参数率定,如图 1 所示,率定得到该河道糙率在 0.023~0.034,河道的 TP 降解系数为 0.1~0.17 d⁻¹, TN 降解系数为 0.03~0.08 d⁻¹。本文选取河道糙率值取 0.03, TP 降解系数取 0.15 d⁻¹, TN 降解系数取 0.065 d⁻¹。

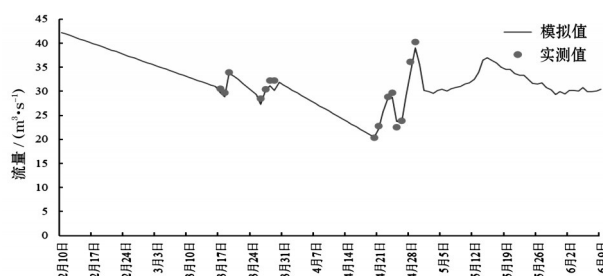


图1 河道流量率定

从图2的流量实测值(实测值来源于室内实验)与模拟值对比分析可知,流量模拟值与实测值误差在 10% 以内。

因此,MIKE11 建立的水动力学模型精度较高,总体模拟效果较好,可较准确反映河段的水动力变化过程。

4 结果与讨论

4.1 研究区域污染特征分析

基于一维水动力模型(MIKE 11 HD)的模拟结果,绘制研究区域下游 TP、TN 质量浓度与流量的折线图(图3)。总体来看,TP、TN 与流量呈一定的负

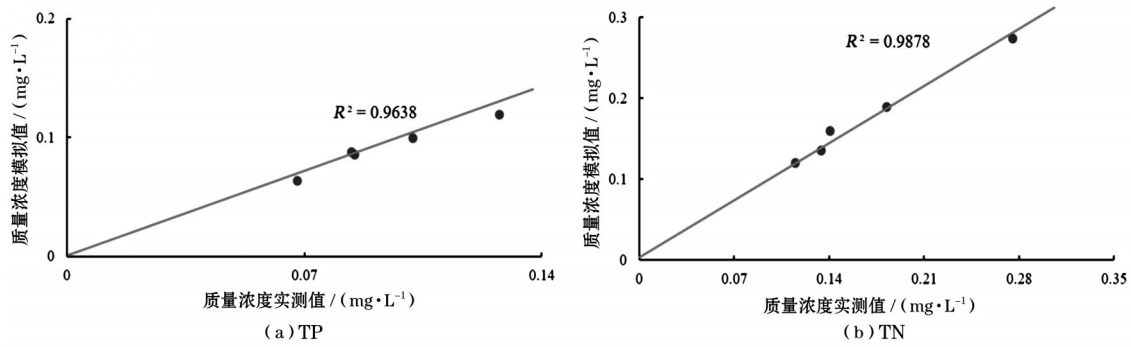


图2 模型参数校正

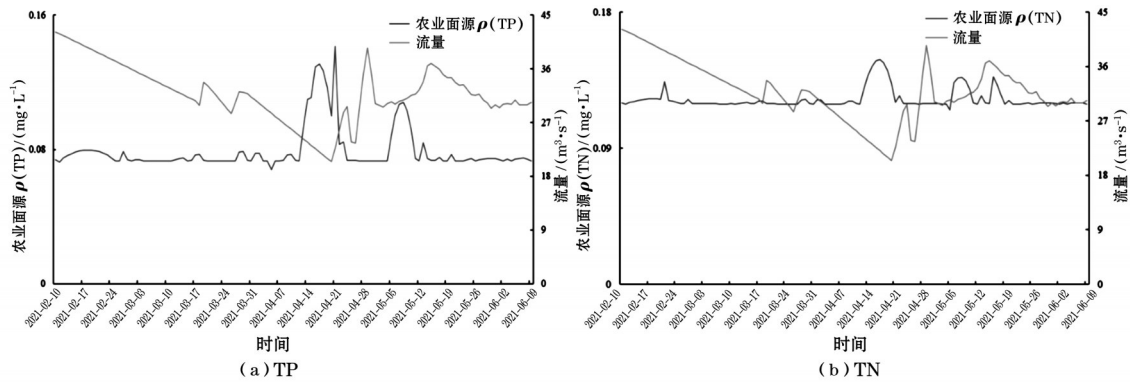


图3 TP、TN质量浓度和流量特征

相关性。

TP、TN的质量浓度变化趋势基本一致,均在4月中旬和5月上旬达到峰值,其他时间呈较为平缓趋势。这可能是由于4月中旬降雨强度大,将河道两侧农田土壤大量冲刷进入河道,河道中TP、TN质量浓度剧烈升高,达到峰值。同时5月上旬TP、TN质量浓度升高,后呈平缓变化,原因是降雨强度大,河道两侧的油菜收割,造成土壤表层裸露,降雨将上层土壤冲刷进入河道,引起河道内TP、TN质量浓度升高。

流量开始呈下降趋势,后呈上升趋势,部分下降,最后呈较为平缓状态。研究区域内流量先呈下

降趋势,其原因大概是这段时间里降水量不大。流量后呈增加后减少的趋势,最后呈平缓变化,其原因大概为降水量增大造成河道内流量升高,后降雨强度变小。

4.2 研究区域土壤对水体的贡献率

研究区域土壤对水体的贡献率如图4所示。图4(a)中土壤中TP对水体的贡献率为40%~60%,图4(b)TN对水体的贡献率为50%~60%,表明研究区域土壤对水体的污染贡献量较大,且贡献率随时间的变化,呈波动状变化。

2—4月,土壤中TP、TN的贡献率成波动变化,

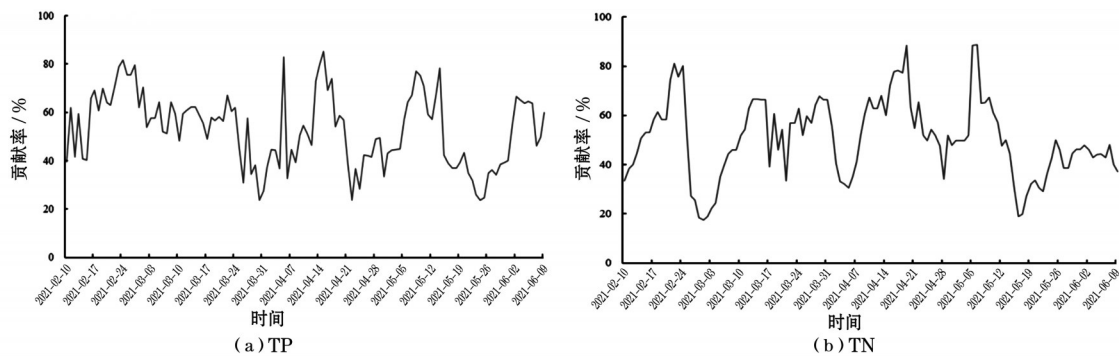


图4 TP、TN贡献率

(下转第61页)

达、发展迅速,信息化系统技术更新迭代快,管护要求较高,无论是建设还是管理维护都要有足够的资金保障。以通吕运河水利枢纽为例,管理单位每年在部门预算中设置了网络设备设施运行与维护费,专门用于自动化、信息化系统的等级保护测评与系统维保等工作。

(4)融入前沿信息技术。紧跟信息化技术发展前沿,吸收融入物联网、BIM、大数据、5G技术、人工智能、数字孪生水利等新技术、新概念,向水利工程管理智能化、自动化、便捷化探索,以期实现“智慧水利”的目标。

6 结 语

通吕运河水利枢纽工程管理信息系统建设是适应当前水利现代化、信息化建设的客观需要,是提升水利工程运行管理效能、展示水利工程标准化与精细化管理水平的重要标志,未来将在推动管理信息系统更加安全稳定的同时进一步提档升级,不断

丰富信息系统功能应用,结合工程特点,开展泵站优化调度、闸站联合调度等方面的探索,为类似水利工程管理信息化建设与运用提供积极探索。

参考文献:

- [1] 雍成林,薛井俊.江都水利枢纽集中控制系统的研究与探讨[J].水利信息化,2014(2):50-54.
- [2] 吴苏琴.基于计算机技术的水利工程管理信息化系统研究[D].西安:西安理工大学,2010:64-65.
- [3] 和彦臣.局域网信息安全面临的威胁与防范措施探析[J].通讯世界,2020,27(6):130,132.
- [4] 宋斯阳.水利枢纽数字水利信息系统的分析与设计[D].西安:长安大学,2013:28-29.
- [5] 肖清平,蒋为洲,唐建洲.水利工程综合自动化信息管理系统的研究[J].中华建设,2017(6):86-87.
- [6] 蒋一波,尚琦智,高艳.基于BIM+物联网的通吕运河枢纽工程智慧建造关键技术[J].中国水利,2021(22):84-85.
- [7] 蒋斌,黄海田,王朝俊.江苏水利信息化与自动化的现状及其发展方向[J].水利水文自动化,2010(1):19-23.

(上接第57页)

总体呈平缓下降趋势,其原因是TP、TN质量浓度变化不大而其他污染源排放量较大,造成贡献率较小;4—5月,土壤中TP、TN的贡献率呈先上升再下降的趋势,其原因是此时TP、TN质量浓度增加,贡献率增加;5—6月,土壤中TP、TN贡献率先增加再下降,后呈缓慢的上升趋势,其原因是TP、TN质量浓度先增大,后变化平缓,而其他污染源质量浓度呈下降趋势,故贡献率呈先增加后下降,最后呈缓慢上升趋势。

5 结 语

本文利用MIKE模拟软件建立构建研究区域典型河段的水动力和水质耦合模型并对TP、TN进行分析。利用同步监测数据对其参数进行率定及验证,模型确定河道糙率值取0.03,TP降解系数取 0.15 d^{-1} ,TN降解系数取 0.065 d^{-1} 。

同时,利用MIKE模型分析了土壤中TP、TN的污染特征及贡献率,得出TP、TN与流量呈一定的负相关性;土壤中TP、TN对水体的贡献率分别为40%~60%、50%~60%。

从地表径流和泥沙携入水体的N、P占较大的

比例,因此,治理水土流失是解决水体富营养化的根本措施。采取人工湿地、休耕轮作和梯田等方式可减少N、P等物质的流失。

参考文献:

- [1] 郭泽慧,刘洋,黄懿梅,等.降雨和施肥对秦岭北麓俞家河水质的影响[J].农业环境科学学报,2017,36(1):158-166.
- [2] 徐海波,王凯,凌虹,等.江苏省主汛期水体水质变化特征及污染防治对策研究[J].环境污染与防治,2022,44(3):350-355.
- [3] TONG ZHANG, YUHENG YANG, JIUPAI NI, et al. Construction of an integrated technology system for control agricultural non-point source pollution in the Three Gorges Reservoir areas [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2020, 25(5/6):15-45.
- [4] XIAOWEN DING, LIN LIU. Long-Term Effects of Anthropogenic Factors on Nonpoint Source Pollution in the Upper Reaches of the Yangtze River [J]. Sustainability, 2019, 11(7):45-78.
- [5] 陈娟,王晓昕,雷德义.基于MIKE11模型的实时水资源调度研究[J].中国防汛抗旱,2022,32(6):45-48.