

硝酸盐氮产污规律研究

周 利,刘 凌,孙 宁

(河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098)

摘要 利用大型可变坡土槽和室内人工降雨,模拟没有任何作物的裸土坡地在不同雨强下非点源硝酸盐氮产污过程.通过多次全过程的降雨量、径流、水质的同步观测,分析污染物浓度随降雨过程的动态变化规律.在物理机理研究的基础上提出降雨径流污染物浓度计算模型.

关键词 非点源污染;土槽;人工降雨;硝酸盐氮;产污规律

中图分类号:X143 文献标识码:A 文章编号:1000-1980(2006)03-0251-03

氮是湖泊富营养化的重要指标之一.近年来,太湖流域水环境污染日益严重,已成为流域经济社会可持续发展的制约因子.根据 2002 年 11 月太湖流域省界水体监测结果,26 个监测点中,有 77% 受到污染,其中Ⅳ类水占 69%,劣于Ⅴ类水占 8%.太湖流域 23% 为中营养水平,77% 为富营养水平,其中非点源污染的贡献超过了一半^[1].湖水中的非点源氮污染主要来自于农田和耕地淋溶流失的硝酸盐氮.

我国的非点源污染研究刚刚开始,并且主要是针对具体小流域进行经验性拟合,对于产污机制方面的研究还比较少见.本文利用河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室的大型土槽,反复模拟没有任何作物的裸土坡地在不同雨强、不同坡度下的产污过程,以期揭示农业非点源产污的一般性规律,为农业非点源污染及湖泊富营养化控制提供参考.

1 试验方案设计

1.1 土槽设置

试验采用大型可变坡土槽长 12 m,宽 3 m,高 1.5 m.试验设施由人工降雨系统、土槽系统、水土取样系统、水土势监测系统、雨量监测系统、测流系统、电脑控制系统组成.土槽从 2004 年 8 月初开始装土,每 5 cm 为一个填土层,按照干密度 1.40 g/cm³ 的标准进行装土,至 8 月底装土完毕,共用 90.7 t 土.土壤取自南京江心洲长江冲积母质发育的河沙土土壤,其理化性质见表 1.

表 1 试验土壤主要理化性质

Table 1 Some physical and chemical properties of tested soil

土壤名称	孔隙度/ %	干密度/ (g·cm ⁻³)	<0.005 mm 粒径含量比例/%	硝酸盐氮含量/ (mg·kg ⁻¹)	0.005~0.050 mm 粒径含量比例/%	0.050~0.100 mm 粒径含量比例/%	0.100~2.000 mm 粒径含量比例/%
沙土	48	1.40	7.1	1.8	16.4	62.4	14.1

1.2 试验方法

通过多次不同雨强全过程的降雨、径流、水质的同步观测资料,分析硝酸盐氮污染物在降雨过程中的动态变化规律.

1.3 样品采集和分析方法

实验共降雨 7 场,分别是 2004-09-24,2004-10-18,2004-11-11,2004-12-06,2004-12-27,2005-01-11,2005-03-29.雨强和坡度均由计算机控制.第 1 场降雨属设备调试,没有进行相关记录.产流后开始收集水样,第 2,3,4 场雨 5 min 收集一次,第 5,6,7 场雨 10 min 收集一次,同时记录流量.每次降雨前测量土壤表层硝酸盐氮含量^[2].

硝酸盐氮测定采用酚二磺酸分光光度法^[3].土壤颗粒分析用吸管法^[4].所有实验均在河海大学水文水资源

源与水利工程科学国家重点实验室完成.

2 产污计算模型

模拟溶解性氮是比较复杂的,营养物经过流水冲击与雨滴的打击,然后经过弥散与扩散,最终通过水流从土壤中萃取出来.溶解营养物产污计算主要基于质量守恒的原理.20世纪80年代美国农业部对杀虫剂进行了大量研究,其研究成果可以用于非点源研究.1987年,Leonard等^[5]提出污染物浓度计算模型:

$$C_s = \frac{C_{av}\beta}{1 + K\beta} \tag{1}$$

式中: C_s ——径流中的污染物质质量浓度,mg/L; C_{av} ——土壤溶液中的污染物质质量浓度,mg/L; K ——分配系数; β ——萃取系数.萃取系数 β 由下式计算:

$$\begin{cases} \beta = 0.5 & K \leq 1 \\ \beta = 0.598e^{-0.179K} & 1 < K \leq 10 \\ \beta = 0.1 & K > 10 \end{cases} \tag{2}$$

对于硝酸盐氮,由于土壤对其吸附极小,故 K 取0, $\beta=0.5$.
在文献[5~7]的基础上,考虑室内土槽的特点,确定 C_{av} 的计算公式如下:

$$C_{av} = X_1 C_0 e^{-X_2} \tag{3}$$

$$X_1 = Q/(Q + F_{IL} + S) \tag{4}$$

$$X_2 = \frac{(Q + F_{IL} + S)D_T}{P_{OR} + 2.65(1 - P_{OR})K} \tag{5}$$

式中: C_0 ——土壤表层营养物的浓度,μg/g; Q ——流量,m³/s; F_{IL} ——下渗率,m³/s; S ——填注量,m³/s,取 $S=0$; D_T ——时间增量,s; P_{OR} ——孔隙度,%.

下渗率 F_{IL} 可以根据累计下渗量计算.累计下渗量采用Green-Ampt模型计算:

$$K_e t = F - N_s \ln\left(1 + \frac{F}{N_s}\right) \tag{6}$$

式中: K_e ——有效饱和水力传导度,cm/h; t ——时间,h; F ——累计下渗量,cm; N_s ——有效基质势,cm. F_{IL} 具体计算步骤见文献[7~8].

对每一个时间步长,利用牛顿迭代法即可求出式(6)中的累计下渗量 F .时间步长取5 min或10 min,依上述原理编程进行计算,即可得出每个时段末的硝酸盐氮浓度.

3 结果与讨论

本次试验共降雨7场,除第1场雨外,其余6场均有实测的硝酸盐氮浓度过程线.计算结果与实测的结果对比见图1.

- 从图1可以看出:
- a. 硝酸盐氮产污过程随降雨呈锯齿状波动,总的来说变化比较平缓.第5场降雨开始时雨强比较大,因此刚开始浓度较高,然后急剧下降.第6场降雨刚开始时雨强比较小,表层土还没有引起强烈的冲刷,因此污染物浓度比较小,后来才慢慢增大.
 - b. 6场降雨模拟计算结果与实测值吻合程度均比较高,平均误差分别为+4.65%,+8.5%,-0.9%,+1.6%,-1.9%,+0.9%.个别点的误差偏大,可能由于取样误差引起.
 - c. 一般来说,土壤中硝酸盐氮含量都是比较低的,图1中的结论只适合硝酸盐氮浓度比较低的情况,对于较高浓度下的产污规律是否符合计算模型尚未核实.

4 结 论

本文利用大型可变坡土槽和室内人工降雨设备,模拟了没有作物的裸土坡地在不同雨强下的非点源硝酸盐氮产污过程.通过多次不同雨强全过程的降雨、径流、水质的同步观测,发现硝酸盐氮产污过程随降雨呈锯齿状波动,总的来说变化比较平缓.本文根据土壤物理特性和国内外产污机理模型,提出产污计算模型,经

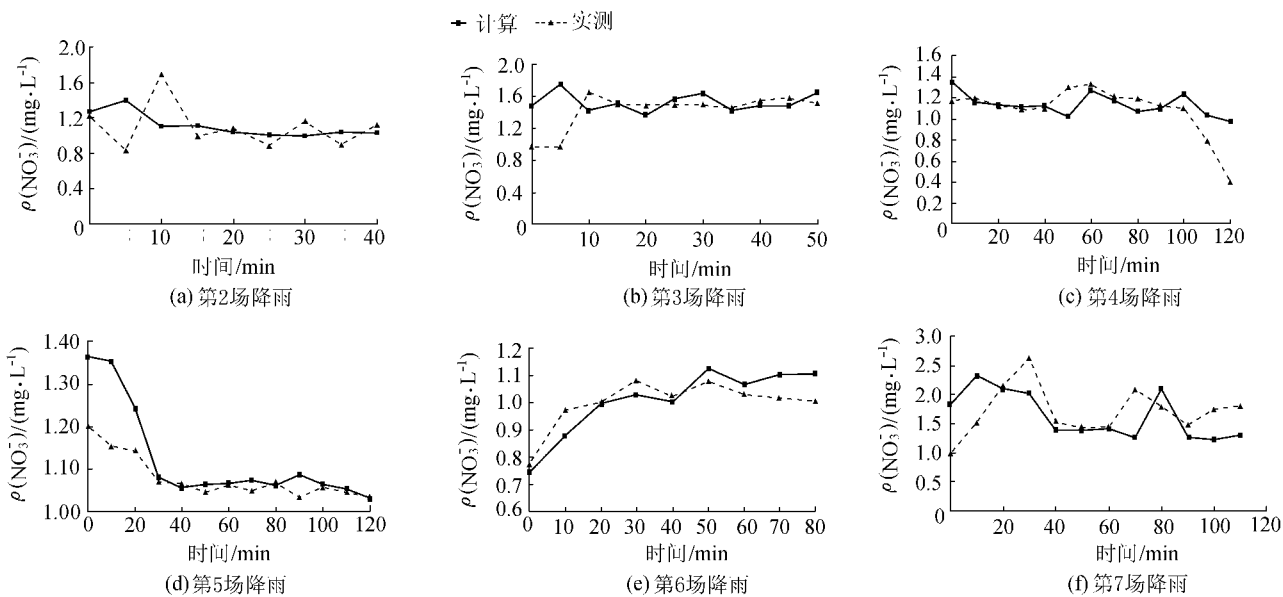


图 1 降雨径流中硝酸盐氮浓度过程线对比

Fig.1 Comparison of computational and experimental results of nitrate concentration in rainfall runoff

过 6 场降雨的验证 ,降雨径流中硝酸盐氮浓度变化规律与本文提出的计算模型吻合较好 .该计算模型物理意义明确 ,大部分参数便于用普通方法实测 ,实用性较强 .

参考文献 :

[1] 陈荷生 ,华瑶青 .太湖流域非点源污染控制和治理的思考 [J].水资源保护 2004 20(1) 34-36 .
[2] 鲁如坤 .土壤农业化学分析方法 [M].北京 :中国农业科技出版社 ,1999 57-58 .
[3] 国家环境保护总局水和废水监测分析方法编委会 .水和废水监测分析方法 [M].4 版 .北京 :中国环境科学出版社 2002 258-261 .
[4] 中国科学院南京土壤研究所 .土壤理化分析 [M].上海 :上海科学技术出版社 ,1978 469-491 .
[5] LEONARD R A ,KNISEL W G ,STILL D A .GLEAMS :Ground water loading effects of agricultural management systems[J].Trans ASAE , 1987 30(5) : 1403—1418 .
[6] SHARPLEY A N ,WILLIAMS J R .EPIC-erosion/productivity impact calculator[M].Washington :Government Printing Office ,1990 .
[7] BOURAOUI F .Development of a continuous ,physically-based ,distributed parameter ,nonpoint source model[D].Blacksburg :Virginia Polytechnic Institute and State University ,1994 .
[8] GREEN W H ,AMPT G .Studies of soil physics .Part I .The flow of air and water through soil[J].J Agric Sci ,1911(4) :1-24 .

Study on nitrate-induced pollution

ZHOU Li , LIU Ling , SUN Ning

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering ,
Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract :By means of artificial precipitation in laboratory , the process of non-point nitrate pollution in uncovered slopes was simulated under different rainfall intensities by use of a large soil tank with changeable slope . By synchronous observation of the rainfall , runoff and water quality for the whole process under different conditions , the dynamic variation of pollutant concentration with runoff rate was analyzed . Finally , based on the study on the physical mechanism , a model for calculating pollutant concentration in rainfall runoff was put forward .

Key words :non-point pollution ; soil tank ; artificial precipitation ; nitrate ; law of pollution