

采用 A GN PS 模型预测小流域磷素流失的分析³

陈 欣 郭新波
(浙江大学生命科学院)

摘 要: A GN PS 模型是美国研制的, 专用于模拟小流域土壤侵蚀、养分流失和预测评价农业非点源污染状况的计算机模型。为了评价该模型在我国南方丘陵区小流域应用的可行性, 利用排溪冲小流域地形、植被、土壤等相关资料对 A GN PS 模型的磷素流失预测结果与小流域土壤磷素流失的实际周年观测资料进行了对比分析。研究结果表明, 预测结果与实际观测结果基本相符, 相关程度较高。认为该模型可用于南方丘陵区小流域磷素流失的预测与评价。

关键词: 小流域; 磷流失; 模型预测

农业生态系统中土壤磷素的流失是磷素循环过程中一个不可忽视的环节, 磷素从土壤中流失, 不仅导致土壤退化、养分循环失衡, 而且导致附近水体富营养化, 对水体产生污染。因此, 在了解土壤磷素流失的途径、影响因素及发生规律的基础上, 对一个区域土壤磷素的流失进行预测, 有利于人们在农业活动过程中, 采取正确的农业措施, 在开发利用农业资源、发展农业生产的同时减少或避免土壤磷的流失。本研究以小流域生态系统为研究单元, 采用 A GN PS 模型预测小流域磷素的流失, 并定位测定坡地磷素的流失形态、流失量, 以验证模型的可靠性。

1 A GN PS 模型简介

A GN PS (A gricultural Nonpoint Source) 模型是由 U S D A 's A gricultural Research Service 和明尼苏达 Pollution Control Agency 共同研制出的计算机模拟模型^[1], 适于对面积为 1~ 50 000 hm² 的小流域生态系统进行农业非点源污染的发生进行评价和流域内土壤侵蚀及 N、P 元素的流失进行预测。该模型是一种分室 (cell) 模型, 应用时将流域均等地划分为若干分室 (cell), 流域径流、污染物、泥沙沿分室汇集于集水口 (图 1)。模型可对整个流域或流域内任何一个分室的状况进行描述、模拟和评价, 反映流域特征的输入输出状况均在分室水平上表达, 表

1 和表 2 分别是模型输入和输出数据文件, 输出的结果可以是单个分室的也可以是整个流域的结果。

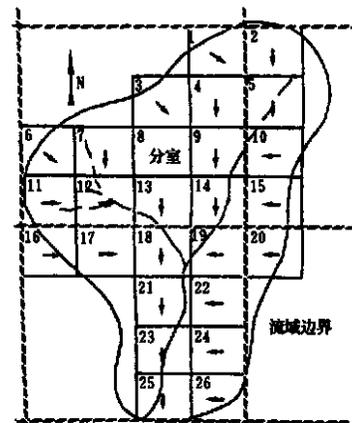


图 1 小流域分室示意图

Fig 1 Sample of watershed showing subdivision into cells

A GN PS 是事件 (event-based) 模型, 可以对每一次降雨事件进行模拟。模型由四大模块 (水文、侵蚀、沉积和化学传输) 组成。径流量、径流高峰主要通过水文模块计算; 坡地侵蚀由侵蚀模块计算; 沉积物的传输通过沉积模块计算; N、P 在流域的迁移传输通过化学传输模块, 分为可溶性部分和泥沙结合态进行计算。可溶性 P 和泥沙结合态 P 的计算公式分别为

$$N u t_{sol} = C_{nut} N u t_{ex} Q \quad (1)$$

$$N u t_{sed} = N u t_{f1} Q_s(x) 1 E_R \quad (2)$$

式中 $N u t_{sol}$ ——径流中可溶性 P 的浓度; C_{nut} ——径流过程中表层土壤中可溶性 P 的平均浓度; $N u t_{ex}$ ——土壤可溶性 P 的提取系数; Q 为总径流

收稿日期: 2000201204

3 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (39870149)

陈 欣, 副教授, 杭州市华家池 浙江大学生命科学院生物系, 310029

量; Nu_{sed} ——泥沙结合态 P 的浓度; Nu_{tj} ——土壤中磷的含量; E_R ——磷素富集率, 用下式计算

$$E_R = 7.4Q_s(x)^{-0.2}tT_f$$

式中 $Q_s(x)$ ——径流泥沙量(由其它模块计算); T_f ——一个与土壤质地有关的因子。

表 1 A GN PS 模型参数输入文件

Tab 1 Input data file parameters of A GN PS model		
参数编号	集水区输入	
1	集水区辨识	
2	分室面积	
3	分室总数	
4	降雨量	
5	降雨侵蚀力	
参数编号	代号	分室参数
1	CE	分室代号
2	RC	下游(径流流入的)分室代号
3	CN	SCS 曲线数
4	LS	平均坡度(%)
5	SF	坡型因子(平整, 凸, 凹)
6	SL	平均坡长(m)
7	CS	平均细沟坡度(%)
8	CSS	平均细沟边坡坡度(%)
9	N	曼宁(Manning)糙率系数
10	K	土壤侵蚀因子
11	C	作物种植因子
12	P	水土保持因子
13	SCC	地表条件常数(因土地利用类型而异)
14	A	分室水流去向
15	T	土壤质地(砂, 粉, 粘, 泥炭)
16	F	施肥水平(零, 低, 中, 高)
17	AF	施肥在表层土壤的残留率(%)
18	PS	点污染源标志
19	GS	沟蚀水平(分室内冲沟侵蚀程度)
20	COD	化学需氧量
21	IF	滞水因子(分室内有梯田或其它储水系统)

表 2 流域或任何一个分室的输出

Tab 2 Output at the watershed outlet or for any cell		
水输出	径流量(英寸, 2.54 cm)	
	径流高峰速率(立方英尺/秒, 0.0283 m ³ /s)	
泥沙输出	泥沙量 \dot{m}	
	泥沙浓度 $\dot{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	
	坡地侵蚀(吨/英亩, 2.4711 t/ha)	
化学元素输出	泥沙结合氮素(磅/英亩, 1.1209 kg/ha)	氮
	可溶性氮浓度 $\dot{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	
	可溶性氮量(磅/英亩, 1.1209 kg/ha)	
	泥沙结合磷素(磅/英亩, 1.1209 kg/ha)	磷
	可溶性磷浓度 $\dot{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	
	可溶性磷量(磅/英亩, 1.1209 kg/ha)	
化学需氧量	浓度 $\dot{m} \cdot \text{kg}^{-1}$	
	总量(磅/英亩, 1.1209 kg/ha)	

2 试验小流域的基本概况

浙江德清排溪冲小流域位于浙江西北部丘陵地区, 属北亚热带气候类型, 年平均降雨量 1 382.33 mm (25 年平均), 较集中地发生在 6~8 月(占全年总降雨量的 41.23%, 25 年平均)。流域总面积约 20.23 hm², 其中水田约 6 hm², 坡地约 12 hm², 水域约 2.5 hm², 流域内高差为 31.2 m, 坡地的坡度从 23.3% 到 33.3%, 坡长从 10.4 m 变化到 70.7 m。小流域内的土壤主要为红壤和红黄壤, 坡地的利用方式主要有竹园(笋用, 下同)、茶园、果园、人工杉林、旱地农作物。

3 小流域磷素流失的预测与实测方法

3.1 小流域磷素流失预测

本研究预测过程框图见图 2。采用城市之星 GIS (CityStar 2.5) 软件进行输入数据的分析处理, 该软件可以接收、储存、转换、显示数字化地形数据及其它专题数据, 产生 A GN PS 模型需要的数据文件。用于数据输入的图件包括小流域地形图 1:10000、土地利用方式图 1:10000、土壤类型图 1:10000, 均由浙江省德清县测绘局提供。

降雨侵蚀因子采用王万忠等^[2]提出的评价方法计算, 降雨过程的降雨量和降雨强度, 由德清县气象局武康气象观测站提供, 气象站离试验区约 2.5 km。土壤侵蚀因子参照 Wan 和 Huang 的方法计算^[3], 坡形、坡度、坡长由地形图分析提取, 作物因子(Cropping factor)、农业措施因子(Farming practice factor)、土壤施肥水平和施肥方式通过实际调查获取, SCS 曲线数、曼宁糙率系数、表面条件参数等根据实际情况按照模型用户手册上的规定选取。

3.2 小流域磷素流失的测定

磷素流失测定于 1996 年 9 月~1998 年 10 月在浙江德清排溪冲小流域进行。根据流域内坡地地形部位及土地利用方式, 布设观测样点 33 个, 每一个样点代表着一个坡段的地形、植被和土壤状况。试验期间分别于 1996 年 9 月、1997 年 1 月、4 月、6 月、8 月取土样(0~1 cm、0~5 cm、0~10 cm、0~20 cm)测定总磷含量和有效磷含量, 测定方法参照文献[7]。径流采用无界径流小区(槽形)法^[4]收集: 于布设观测样点的地形部位设无界径流小区(槽型, 于槽内安放收集径流的玻璃瓶), 降雨后收集径流, 野外径流收集后立即用浓硫酸处理以终止微生物活



图2 小流域磷流失预测流程

Fig 2 Flowchart of the procedures for prediction of phosphorus loss in a micro-watershed by AGNPS model

动, 每 500 mL 径流约加入 2 mL 浓硫酸, 样品带回实验室后放于冰箱 4 °C 下保存。

径流中泥沙含量用定容干重法^[5]测定: 将径流溶液充分搅拌均匀后, 量取 100 mL 于 200 mL 的烧杯中, 烘干后称重, 泥沙含量用 $g \cdot L^{-1}$ 表示。

径流中磷素形态磷及含量测定: 从磷素流失的角度, 径流中磷素的形态主要有可溶性磷 (Dissolved Phosphorus, DP)、泥沙结合态磷 (Particulate Phosphorus, PP)、总磷 (Total Phosphorus, TP), 其含量参照 Sharpley (1991, 1992) 报道的方法测定^[5,6]。

4 模拟与实测结果分析

将排溪冲小流域分为 20 个分室, 每一分室面积约 1 hm^2 , 根据 1997 年 4、5、6、7、8 月的降雨数据, 对 4~8 月期间 15 次降雨事件所产生的径流的 DP 和磷的流失进行模拟分析, 比较分析径流可溶性磷浓度和泥沙结合态磷流失量的模拟值与实际观测值表明 (图 3、图 4), AGNPS 模型模拟的结果与实际观测结果基本相符, 相关程度较高, 说明该模型能对南方丘陵区小流域的磷素迁移、流失情况进行预测。

5 结 语

AGNPS 模型是特别适于评价和预测小流域农业非点源污染发生的计算机模型, 虽然 AGNPS 模型已对美国十几个小流域进行过模拟并已被验证^[1], 在我国台湾地区也曾应用^[8]。但国内的应用尚未见报导, 本研究对模型的磷流失模块进行了模拟和验证, 模型预测值与观测值相关程度较好。如果将

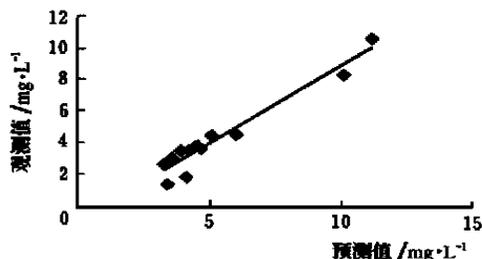


图3 流域内不同分室径流 DP 的预测值和观测值的相关情况

Fig 3 Predicted versus observed DP from cells in Paixichong watershed

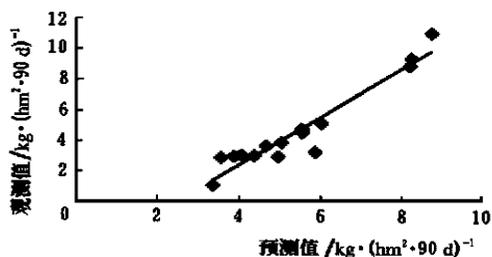


图4 流域内不同分室土壤磷流失的预测值和观测值的相关情况

Fig 4 Predicted versus observed P loss from cells in Paixichong watershed

AGNPS 模型与 GIS 和一些优化模型如多目标线性规划模型 (MGLP) 结合应用, 将能对小流域内不同的农业管理措施进行评价, 寻找出最佳农业管理措施 (Best Management Practices, BMPs)^[1,8,9]。但本研究未能将该模型与 GIS 和其他优化模型更进一步结合, 研究也只限于一个小流域内, 因而还需进一步的研究和探讨。

[参 考 文 献]

- [1] Young R A. AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watershed. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1989, 44 (2): 168~173
- [2] 王万忠等. 中国土壤侵蚀因子定量评价研究. *水土保持通报*, 1996, 16(5): 1~20
- [3] Wann S S, Hwang J I. Soil erosion on hill slopes of Taiwan. *J Chinese Soil & Water Conservation*, 1989, 20(2): 17~45 (in Chinese)
- [4] Robert J L. Measurement methods for soil erosion. *Progress in Physical Geography*, 1989, (2): 5~9
- [5] Sharpley A N. The transportation of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. *J Environ Qual*, 1992, 21: 30~35

- [6] Sharpley A N, Troeger W W and Smith S J. The measurement of bioavailable phosphorus in agricultural runoff J Environ Qual 1991, 20: 235~238
- [7] 南京农学院 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1983, 62~ 75
- [8] Lo K F A. Quantifying soil erosion for the Shihmen reservoir watershed, Taiwan. Agricultural System, 1994, 45, 105~ 106
- [9] Vaichyanathan P, and Conell, D L, The Rhode River watershed phosphorous distribution and export in forest and agricultural soils J. Environ. Qual 1992, 21: 280~ 288

Prediction of Phosphorus Losses for Micro-Watershed Ecosystem by A GN PS Model

Chen Xin Guo Xinbo

(A g roecology Institute, L ife Science College, Zhejiang University, H anzhou 310029)

Abstract: A GN PS (A gricultural Non-Point Source) model is a computer model specialized for predicting and evaluating the agricultural non-point source pollution of a watershed. To evaluate the feasibility of A GN PS model applied to watershed ecosystem in hilly areas of southern China, the results of phosphorus losses from field observed and from A GN PS predicted were compared in Paixichong watershed belonging to red soil hilly areas, located in northern Zhejiang Province, southern China. The study showed that the predicted results coincide with observed results, which suggests that this model is suitable for predicting phosphorus losses in red soil hilly areas, southern China.

Key words: watershed; phosphorus loss; prediction

欢迎订阅 2001 年《农业工程学报》双月刊

《农业工程学报》是由中国农业工程学会主办的国家级学术期刊。中文核心期刊之一。

《农业工程学报》为建设现代农业服务, 主要刊登农业生产体系建设系统工程与管理工程、农业水土工程、农业机械工程与机械化生产体系、设施农业与工厂化农业建设工程、生物环境控制工程、农村能源工程、农产品加工与贮藏保鲜工程以及高新技术农业应用等方面的研究报告、学术论文和综述等。

学报作为学会的学术园地, 还设有“ 研究简报、学科动向、学术动态、学会记事、新书评介、论坛、高校与科研单位简介 ”等众多栏目, 向会员及相关学科广大读者全面介绍农业工程最新科研成果与学科发展信息, 提供国内外农业工程学术活

动动态。

《农业工程学报》为双月刊, 大 16 开本, 160 页, 全部 70 克胶版纸, 彩色封面覆膜。2001 年每期定价 22 元, 全年 6 期共 132 元。

刊号: ISSN 1002- 6819 CN 11- 2047öS

邮发代号: 18—57

本刊可破季订阅, 如在邮局未订上, 可直接与编辑部联系。

编辑部地址: 北京市朝阳区农展馆南路

《农业工程学报》编辑部

邮编: 100026 电话ö传真: (010) 64192903

电子信箱 (Em ail): transcsae@agri.gov.cn