

太湖湖区有机物流失模拟*

徐向阳 刘俊

(河海大学水文水资源及环境学院, 南京 210098)

提 要 太湖湖区暴雨径流携带有大量的泥沙和土壤有机物质,对河湖水质造成污染.为了定量分析有机污染对太湖水体的影响,分水田和旱地两种土地利用条件,采用数学模型模拟了湖区丰、平、枯典型年的产流、土壤侵蚀和有机物流失过程及年总量.结果表明,湖区土壤侵蚀量和有机物流失量随地表排水强度的增加呈指数形式增大,尤其是每年暴雨期,湖区地表排水中有机物含量显著增大.建议在太湖流域水质规划和治理中加以重视并采取必要防治措施.

关键词 太湖 模型 有机物 侵蚀 地表径流

分类号 P343.3

太湖位于长江下游,面积 2338km^2 ,总容积 $44.3 \times 10^8\text{m}^3$,是太湖流域工农业用水和生活用水的主要水源之一.近年来,随着太湖流域经济的迅猛发展,排入水体有机污染物逐年递增,严重污染了河湖水质.环境监测结果表明,太湖周边平原地区大部分河道的水质仅达地面水IV—V级标准.太湖中心水体虽然还保持为地面II级水状态,但湖泊周边河口水质明显恶化.根据太湖流域经济发展和流域整体规划的要求,太湖水质近期及远景规划的目标是保持地面II级水标准.为了达到这一目标,必须对影响太湖水质的有机污染源进行调查和评价,并制定相应的控制和治理措施.

太湖湖区是指环湖公路内侧地区,土地面积 889km^2 ,其中农田面积 607km^2 ,其它为丘陵和非耕地,暴雨径流冲刷的泥沙和有机物可直接进入太湖水体,对太湖水质有直接的影响.由于土壤有机物排放属面源污染,影响因素又很复杂,难以通过污染源调查和水质监测途径直接推求排放总量及其过程.本项研究将通过太湖土地利用性质、土壤组份、水文气象过程、农田排灌方式的分析,采用数学模型来模拟湖区土壤有机物随地表排水和土地侵蚀的流失过程并计算年流失总量.

1 模型的建立

1.1 水田排水模拟

设水稻生长的适宜水深范围为 $H_1 - H_2$,湖区范围较大,灌溉具有不同步性,故全区水田平均适宜水深 $\bar{H} = (H_1 + H_2)/2$.在正常情况下的湖区水田引排水的方式为:在无雨日引水以补充水田蒸散发和下渗量,使全区水田平均蓄水深度 H 保持为 \bar{H} ;当降雨期水田 H 大于耐淹水深 H_3 时,灌区以水田最大排水能力 H_c 为上限排水;当 $\bar{H} \leq H \leq H_3$,灌区不引不排以减少动力和水资源消耗.因此,灌区水田向河湖水体排放的地表水量(R_s)可用下式描述:

* 江苏省软科学基金项目(BR95024).

收稿日期:1997-07-28;收到修改稿日期:1997-11-15.徐向阳,男,1954年生,副教授.

$$R_s = \begin{cases} 0 & H \leq H_3 \\ H - H_3 & 0 < H - H_3 < H_e \\ H_e & H - H_3 \geq H_e \end{cases} \quad (1)$$

水田 $t+1$ 日初始水深采用水量平衡方程逐日递推:

$$H_{t+1} = H_t + P_t - E_t - I_t - R_s \quad (2)$$

式中, H_t, P_t, E_t, I_t, R_s 分别代表 t 日水田初始水深、降水量、蒸散发量、下渗量、地表排水量。

水田蒸散发量 E 与水稻生长季节、气象条件、土壤条件、水稻品种等有关。一般是针对具体地区, 分水稻生长季节或分月与水面蒸发值 E_0 建立相关

$$E = KE_0 \quad (3)$$

综上所述, 涉及水田排水子模型共有 6 个参数: H_e, H_1, H_2, H_3, I, K 。其中, H_e 反映了圩区或农田的排水能力, 根据设计排涝模数得出。其它 5 个参数一般以本地农业试验资料为基础, 结合实测灌溉和排水资料综合分析确定。据此调查和分析得湖区参数见表 1。

表 1 水田排水参数

Tab. 1 Paddy field drainage parameters

月份	H_1/mm	H_2/mm	H_3/mm	K	$I/\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$
4	10	30	50	1.01	2
5	20	40	70	1.19	2
6	20	40	70	1.23	2
7	20	40	70	1.28	2
8	20	40	80	1.35	2
9	15	30	70	1.35	2
10	10	20	50	1.20	2

1.2 旱地产流模拟

太湖流域属湿润地区, 地下水丰富且埋深小, 土壤疏松, 植被良好, 因此, 旱地和山区产水计算采用蓄满产流模型^[1]。蓄满产流模型的基本原理是: 降水量满足流域蓄水容量后, 剩余部分即为产流量。其中, 大于土壤表层重力下渗率的净雨量为地表径流, 下渗的重力水为地下径流。

地下水面上通气体层厚度的不均

匀性可用流域蓄水容积曲线来表达, 常用的表达式为:

$$\alpha = 1 - (1 - S/S_m)^b \quad (4)$$

式中, α 为流域内产流面积的比例, S 为流域内各点蓄水容量(mm), S_m 为流域内最大点蓄水容量(mm), b 为蓄水容积曲线指数。

图 1 描绘了 $S-\alpha$ 关系和 $P-W-R$ 关系, 图中 P 为流域降雨量(mm), R 为流域产流量(mm), W 为流域土壤含水量(mm), W_m 为流域土壤最大初损(mm)。

根据图 1 和公式(4)可以推得产流计算的主要公式为:

$$S_m = (1 + b) W_m \quad (5)$$

$$A = S_m [1 - (1 - W/W_m)^{1/(1+b)}] \quad (6)$$

$$R = P - E + W - W_m + W_m [1 - (P - E + A)/S_m]^{1+b} \quad P - E + A < S_m \quad (7)$$

$$R = P - E + W - W_m \quad P - E + A \geq S_m \quad (8)$$

式中, E 为旱地蒸发量(mm)。

若土壤表层重力水下渗率为 f_c , 则在 Δt 时间内地表径流 R_s 和地下径流 R_g 为

$$R_s = R - f_c \alpha \Delta t \quad R > f_c \alpha \Delta t \quad (9)$$

$$R_g = R - R_s \quad (10)$$

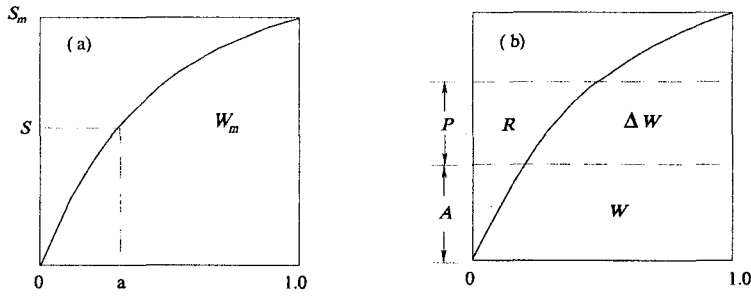


图1 流域蓄水容积曲线

(a) $S-\alpha$ 关系;(b) $P-W-R$ 关系

Fig.1 Catchment storage capacity curve

(a) relation between S and α ;(b) relation among P , W and R

第 $t+1$ 日土壤含水量 W_{t+1} 采用递推公式推求:

$$W_{t+1} = W_t + P_t - E_t - R_t \quad (11)$$

其中,田间蒸散发量 E 采用一层蒸散发模式^[2]计算:

$$E = E_m W / W_m \quad (12)$$

式中,土壤蒸发能力 E_m 由水面蒸发观测值折算得出

$$E_m = \beta E_0 \quad (13)$$

由湖区巡测水文资料和下渗试验资料,通过水量平衡计算,综合分析得各参数估计值 $W_m = 80\text{mm}$, $b = 0.3$, $\beta = 1.05$, 旱地 $f_c = 5\text{mm/h}$, 山丘区 $f_c = 2\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$.

1.3 土壤侵蚀量模拟

由于暴雨的侵蚀,集水区域的泥沙随地表径流冲刷携带进入水体.根据太湖流域输沙监测资料分析,假定集水区域侵蚀模数 S_f ($\text{t}\cdot\text{km}^{-2}$) 与地表径流强度 r_s ($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$) 呈指数关系

$$S_f = cr_s^a \quad (14)$$

若集水区面积为 F , 则时段侵蚀量

$$S_c = cr_s^a F \quad (15)$$

式中,参数 c , a 可以根据集水区域产沙量采用最小二乘法分析得出.

由于对流域侵蚀量的观测很困难,而河道输沙资料相对比较充分.如果分析得到河道的输沙比 E_s , 则可由河道输沙量 S_s 反推侵蚀量

$$S_c = S_s / E_s \quad (16)$$

太湖湖区本身缺乏输沙观测资料.根据浏河、张家港、南渡三个集水区域实测流量和输沙资料,分析综合得 $c = 0.117$, $a = 1.3$.

1.4 有机物流失量估算

土壤中的有机物的大部分以有机质的形式存在,与土壤颗粒结合紧密,另一部分是未经分解的动植物残体.有机物随地表径流和泥沙汇入水体,形成水体中的有机污染物质.在流失物

中,有机物与泥沙的关系为:

$$D = E_d S_c C_s \quad (17)$$

式中, D 为有机物冲刷量($\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$), E_d 为地表径流中有机物富集比($\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$), C_s 为土壤中有有机物比例.

当地表径流中有机物与泥沙中有机物之比资料缺乏时, E_d 由经验公式^[3]推求:

$$E_d = \frac{0.003}{C_s} + 1.08 \quad (18)$$

根据土壤普查资料分析,湖区土壤有机物比例平均值为 2.7%, 计算得 E_d 为 1.19.

土壤中有有机物的元素主要为碳、氧、氮、氢等,成份相对稳定,其比例平均值大约为:碳 $\alpha_C = 55\%$, 氧 $\alpha_O = 32\%$, 氮 $\alpha_N = 5.5\%$, 氢 $\alpha_H = 5\%$, 其它组份 2.5%^[4]. 按理论耗氧量公式

$$\alpha_{\text{TOD}} = \left(\frac{32}{12} \alpha_C + \frac{16}{2} \alpha_H - \alpha_O \right) \quad (19)$$

计算得理论耗氧量与有机物重量比 $\alpha_{\text{TOD}} = 1.547$. 土壤中有有机质基因分子量较大,大部分为土壤微生物降解产物,因而生化性很差. 根据有关研究^[3], 土壤中有有机物生化耗氧量约为理论耗氧量的 9% 左右. 这样, 由有机物的流失量, 可以估算出相应总耗氧量和生化耗氧量.

2 结果及分析

采用上述模型和参数,对湖区丰、平、枯典型年降水过程进行逐日模拟计算,其降雨量 P , 地表径流量 R_s , 下渗量 I , 产沙量 S_c , 侵蚀模数 S_f , 有机物 D , 理论耗氧量 TOD, 生化耗氧量 BOD 的全年统计值见表 2.

表 2 太湖湖区典型年径流、泥沙、有机物模拟结果

Tab. 2 The result of simulating runoff, sediment and organic matter in the area around Taihu Lake in representative years

典型年份	P /mm	R_s / 10^8m^3	I / 10^8m^3	S_c / 10^4t	S_f / $\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$	D /t	TOD /t	BOD /t
1978	617	1.30	3.30	2.09	23.5	672	1040	93.5
1982	1034	3.67	3.96	8.19	92.2	2630	4070	366
1983	1325	5.89	4.45	15.2	170.6	4880	7560	680

模拟结果表明,湖区农田和山丘地产流、产沙和有机物排放具有以下特征:

(1) 年地表径流总量及地表径流系数具有随年雨量增加而增大的趋势,降雨强度的影响也很明显.

(2) 流域产沙量和有机物排放量随地表径流增加而呈指数级增长.

(3) 丰、枯水年之间的产沙量和有机物排放总量差别很大.典型年分析结果表明,其比值可达 7 倍以上.

(4) 在典型年中,丰水年地表径流中 TOD 和 BOD 平均含量也明显高于枯水年,其丰、枯年间的比值为 1.6;如果按湖区排放的径流总量统计,这一比值为 3.2.

(5) 不论是丰、平、枯水年,在降水强度较高的时期内,泥沙及有机物的排放量和在径流中的含量均显著高于年平均值.

以上结果说明, 枯水年份土壤有机污染排放量较小, 工业点源排放可能占主导地位, 但不能忽视局部暴雨期的农业有机污染排放量. 在丰水年, 土壤有机面源排放量显著增大, 汇入水体的地表径流中, TOD 和 BOD 年平均浓度分别为 $12.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1.1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 最大日平均浓度分别为 $17.8\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $16.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 对河湖水质具有明显的影响, 建议在太湖水质规划和治理中加以重视. 最重要的措施是加强湖区保水、保土、保肥工作, 如修建一些蓄水和滞水工程以降低地表径流总量和坡面汇流速度, 注意农田的施肥时间和方式, 在山丘和坡地加强植树绿化, 这样才能减少农业和山丘地面污染物质排放量, 增加河湖水体的环境容量, 从根本上保护太湖及周边河网的水质.

参 考 文 献

- 1 吴之诚. 工程水文学. 北京: 水利电力出版社, 1986
- 2 赵人俊. 流域水文模拟. 北京: 水利电力出版社, 1984
- 3 Vladimir N and Gordon C. Handbook of Nonpoint Pollution. New York: CRC Press Inc, 1981. 212 - 230
- 4 于天仁, 王振权. 土壤分析化学. 北京: 科学出版社, 1988

Simulation of Organic Matter Loss in the Area Around Taihu Lake

XU Xiangyang LIU Jun

(College of Water Resources and Environment, Hohai University, Nanjing 210098)

Abstract

A great amount of sediment and organic matter are involved in storm runoff from area around Taihu Lake, which deteriorates the water quality of river and lake. In order to analyze the influence of organic pollutants on Taihu Lake water quality quantitatively, a mathematical model is proposed to simulate the loss processes and total amount of runoff, erosion and organic matter in typical years, in which two land use conditions of paddy field and dry land are considered. The result shows that the amounts of soil erosion and organic matter loss increase with surface drainage intensity exponentially, and organic matter content in surface runoff increases obviously during storm period. The problem must be highly thought of and some measures reducing the organic pollution should be taken in the water quality planning and management of Taihu Lake basin.

Key Words Taihu Lake, model, organic matter, erosion, surface runoff