文章编号: 1000- 2243(2005)06- 0825- 05

基于非点源污染负荷模型 PLOAD 的最佳管理措施模拟研究

任霖光, 潘文斌, 蔡芫镔

(福州大学环境与资源学院, 福建 福州 350002)

摘要: 提出了一种分级选择控制区, 以确定流域内重点非点源控制区并实施最佳管理措施的优化方法. 首先利用 PLOAD 模型计算流域非点源污染负荷量, 并筛选出重污染区, 最后模拟在重污染区中实施生态工程措施后的效果, 为最佳管理措施的选址与实施提供依据.

关键词: 非点源污染; PLOAD; 最佳管理措施
中图分类号: X592 文献标识码: A

Simulation study on best management practices built- in PLOAD

REN Lin- guang, PAN Wen- bin, CAI Yuan- bin
(College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: Proposes a kind of optimized method to confirm the pollution control priority of watersheds in study area. Firstly, PLOAD model was induced to calculate the non- point pollution load, which was proposed by EPA. Secondly, in order to figure out sub- watersheds that holding pollution control priority, a priority check was carried out by comparing the maximum non- point source pollution loads from sub- watersheds. Finally, the effect of some ecological engineering BMPs implemented in the priority sub- watersheds was simulated.

Keywords: non- point source; PLOAD; BMPs

随着点源污染控制制度和措施的完善[1], ①, ②, 未来我国污染治理的工作重心将逐步转移到对流域非点源污染的削减与控制上. 为了便于解决复杂的非点源问题, 90 年代后期产生了一些基于地理信息系统的大型多功能流域模型, 其中比较著名的有美国国家环保局开发的 BASINS 和美国农业部农业研究所开发的 AGNPS 等[2]. 在本文中采用的 PLOAD 模型是集成于 BASINS 系统下的一个计算非点源污染负荷量的模型, 主要分析的是流域非点源污染的年负荷量情况并能够计算实施最佳管理措施(BMPs)后的年负荷量[3] ③, ④. BMPs(Best Management Practices)是指环境保护部门为预防或控制非点源污染, 以确保特定水体水质达标所实施的最佳单项管理措施或几项管理措施的组合. BMPs 的概念和方法由美国在 70 年代非点源管理和控制实践中提出, 现已在美国得到广泛应用. 在本文中, 作者通过 PLOAD 模型对美国宾夕法尼亚州的 CAMBRIA 地区的污染状况进行模拟研究并在分级缩小控制区面积的基础上模拟 BMP 措施实施效果.

1 研究区域概况

CAMBRIA 地区位于宾夕法尼亚州(Pennsylvania State)西部, 面积为 3.58×10^5 ha. 宾夕法尼亚州是美

收稿日期: 2005- 02- 24
作者简介: 任霖光(1982-), 男, 硕士研究生.
基金项目: 福州大学基金资助项目(XJY- 0110); 福建省科学技术厅青年科技人才创新项目(2001 J054)

① 中国国家发展和改革委员会发展规划司.《国民经济和社会发展第十个五年计划生态建设和环境保护重点专项规划》. 2003.
② 中国国家计委、建设部、国家环保总局.《关于推进城市污水、垃圾处理产业化发展的意见》. 2003.
③ USEPA BASIN 3.0 User's Manual: System Overview. 2001.
④ USEPA PLOAD 3.0 User's Manual. 2001.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

国大西洋沿岸中部一州, 介于大湖区和特拉华河之间. 地形除东南角属大西洋沿岸平原外, 大部属阿巴拉契亚高地. CAMBRIA 地区平均海拔 500 m. 属温带大陆性湿润气候, 年降水量 1 070 mm. 森林覆盖率 58%. 主要工业部门有冶金、纺织、化工、机械制造、金属加工、造船、电子、电气等. 萨斯奎汉纳河下游的兰开斯特等县是著名的农业区. 经济作物有烟草和水果等.

2 PLOAD 模型的 BMPs 系统执行过程及其输出

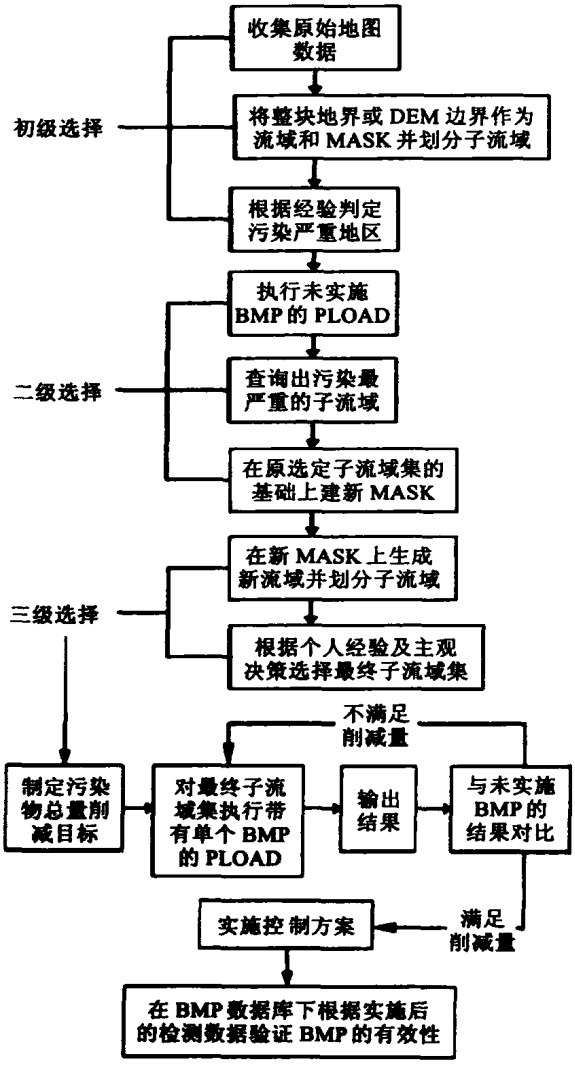


图 1 单个 BMP 系统的流程图

Fig. 1 Schematic map of single BMP process

为了将有限的资金运用在最需要控制的区域中, 对预先定制的边界进行了污染负荷空间分布分析, 找出最大污染负荷地块. 再对其进一步细化分区, 预定一个污染物总量削减控制目标, 模拟实施 BMP 并对比模拟实施前后的污染负荷变化情况, 从而判定该措施的有效性. 以上简述的是 PLOAD 模型模拟单个 BMP 的过程. 这里的单个 BMP 在本文专指对小型单一子流域唯一施行的最佳管理措施. 单个 BMP 系统控制流程图如图 1 所示. 研究区域多种土地利用类型的叠加显示效果图如图 2 所示. 对控制区的三阶段选择如图 3 所示.

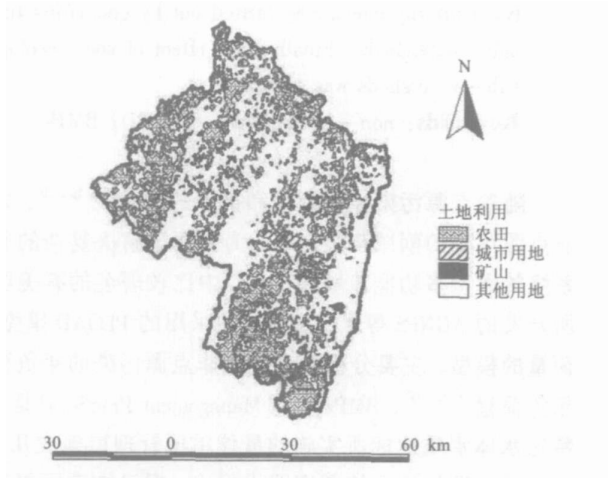


图 2 研究区域多种土地利用类型的叠加显示效果图

Fig. 2 Schematic map of land use in study area

2.1 控制区的初级选择

初级选择: 选取原始地图边界(见图 2 或图 3(a) 的边界) 作为研究区.

为了便于寻找非点源发生的规律可对预先定制的地图进行初步分析. 已知对污染负荷量贡献较大的土地利用类型是城市用地、农田和矿山. 图中, 城市用地主要集中在子流域 19; 农田用地主要分布在子流域 4、9、21、22、25 和 28; 黑色代表开采的矿山, 零散分布在子流域 9 和 19(见图 3(a)). 然而如果仅依据如此初级的 GIS 显示信息, 显然无法划定具体的 BMP 控制区.

2.2 研究区的锁定

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

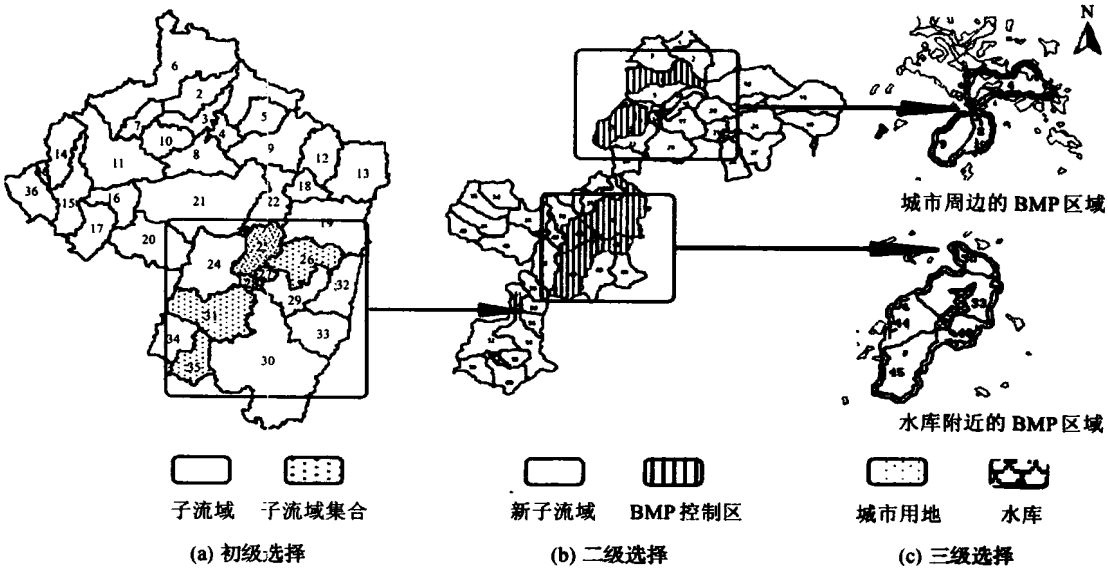


图 3　研究区分级选择的流程图

Fig. 3　Schematic map of stepwise selection for sub- watersheds holding pollution control priority in study area

2.2.1　控制区的二级选择

设定最佳管理措施 BMP 系统输出的数据由 PLOAD 模型的简易法计算得出, 并对控制区进行二级选择.

1) 输入数据: 每年降雨量 P (1 200 mm/a)、降雨产流率 P_j (默认 0.9)、土地利用面积 A_u 表[1)]、降雨事件污染物平均产出浓度 EMC (C_u) 表[1)] 和不透水率 I_u 表①.

2) 简易法模型公式[5, 7]

$$R_{vu} = 0.05 + (0.009 \times I_u) \tag{1}$$

$$L_p = \sum_u (0.01 \times P \times P_j \times R_{vu} \times C_u \times A_u) \tag{2}$$

式中: L_p 为污染负荷(kg/a); R_{vu} 为土地利用类型 U 的地表径流系数; I_u 为下垫面不透水率(%); C_u 为土地利用类型 U 下的污染物产出平均浓度(mg/L).

3) 输出图表. 输出的图形参见图 3(a), 表 1 为部分结果.

表 1　输出的部分结果一览表

Tab. 1　The NPSP load export from some sub- watersheds

子流域	A_u/ha	BOD/kg·ha^{-1}·a^{-1}	COD/kg·ha^{-1}·a^{-1}	TSS/kg·ha^{-1}·a^{-1}	TP/kg·ha^{-1}·a^{-1}
23	253.571 7	20.020	140.745	102.023	0.489
25	7 117.562 4	10.003	71.250	79.904	0.388
26	9 243.013 6	9.062	60.026	85.088	0.280
27	1 089.708 1	7.541	52.152	82.585	0.276
28	1 245.752 3	6.751	56.616	72.443	0.412
31	14 132.396 8	7.700	63.412	89.921	0.405
35	5 930.977 2	6.873	68.124	91.051	0.523

4) 查询浓度最大的子流域. 根据设定的单位面积生化需氧量 BOD、化学需氧量 COD、总悬浮物 TSS 和总磷 TP 的浓度值分别为 6.5、55、70 和 0.25 kg·ha^{-1}·a^{-1}. 在初级选择出的整个 CANBRIA 地区内查询大于设定值的子流域, 分别取浓度值最大的 4 个.

① USEPA. PLOAD3.0 User's Manual. 2001.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

控制区二级选择的结果: 综合考虑单位面积 BOD、COD、TSS 和 TP 的浓度值都大于原设定的浓度值, 流域之间地理位置相连等多方面因素取第 23、25、26、27、28、31 和 35 子流域构成的子流域集作为研究区(图 3(a)).

2.2.2 控制区的三级选择

将二级选择的子流域集作为掩膜区(MASK), 在该区上生成流域, 并继续划分成尺度更小的子流域(参见图 3(b)).

控制区三级选择的结果: 从保护城市生态环境和水源地的目的出发, 分别选取城市周边地区——子流域 4、8、9 作为 BMP 控制区, 取水库周围地区——子流域 30、33、39、40、44 和 45 作为 BMP 的控制区(参见图 3(c)).

2.3 实施 **BMP** 措施的负荷变化研究

2.3.1 多种单一 **BMP** 的比选

设定实施 BMP 后, 各流域单位面积的污染负荷需削减 10%, 依据上述目标, 选择出在技术性、经济效益和使用年限方面较其它单一 BMP 措施更具有优势的湿地(Wet land)、扩展缓冲塘(Extended detention pond)和植物洼地(Vegetated swales)作为去除污染物的工程措施(选择依据见文献[4]). 在面积较小的子流域 4 实施的措施是适用面积范围最宽的湿地; 在单位面积 TSS 污染负荷较大的子流域 8、9、44、45 实施的措施是 TSS 去除效果最好的扩展缓冲塘; 在水库周边的子流域 30、33、39 和 40 实施的措施是成本最低的植物洼地. 子流域编号见图 3(c); 对不同子流域选择相应 BMP 的依据参考表 2 和表 3.

表 **2** 主要 **BMP** 工程措施特征一览表[4]

Tab. 2 Characteristics of different structural BMPs

BMP	投资成本	运行与管理成本	$t_{有效年限}$/a	$A_{服务}$/ha
扩展的缓冲塘	中等	低	20~50	>0.8
湿地	中等到高	中等	20~50	>0.4
植物洼地	低到中等	低	5~20	0.8~1.6

表 **3** 主要 **BMP** 工程去除污染物效率表[5]

Tab. 3 Pollutant removal efficiency table for different structural BMPs

BMP	$w_{总悬浮物}$/%	$w_{总磷}$/%	$w_{溶解性氮}$/%
扩展的缓冲塘	91	50	35
湿地	65	25	0
植物洼地	50	55	0

2.3.2 实施 **BMP** 前后结果对比

BMP 模型公式为[3]:

$$A_{SBMP} = A'_{SBMP}/A_B \tag{3}$$

$$L_{BMP} = (L_P \times A_{SBMP}) \times (1 - E_{FFBMP}/100) \tag{4}$$

$$L = \sum_{BMP} L_{BMP} + L_P \times [(A_B - \sum_{BMP} A_{SBMP})/A_B] \tag{5}$$

式中: A_{SBMP} 为采取 BMP 措施的面积占全流域面积的比值(%); A'_{SBMP} 为采取 BMP 措施的面积(ha); A_B 为流域的总面积(ha); L_{BMP} 为采用 BMP 措施区域的污染物负荷量(kg); E_{FFBMP} 为 BMP 措施的污染负荷去除率(%); 最终的污染负荷量 L 为有 BMP 措施区域产出的量与无 BMP 措施区域产出量之和(kg). 利用式(1)~(5), 可算出实施 BMP 前后的各子流域单位面积负荷与污染物削减率(表 4).

削减率= 实施 BMP 前后的单位面积负荷的差/未实施 BMP 的单位面积负荷

从表 4 可知除溶解性氮以外, 拟采取措施的效果已经超过污染物负荷削减量 10% 的目标, 已基本

© 1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

上实现对该选定流域的污染控制, 并且对其下游子流域的污染控制也会产生积极的正面影响. 因此对各个选定的子流域分别实施的 BMP 措施在理论上是可行的.

表 4　实施 BMP 前后的各子流域单位面积负荷与污染物削减率表

Tab. 4　Pollutant loads per acre by sub- watersheds without BMPs and with BMPs, and the removal efficiency

子流域	TSS/ kg• ha^{-1}• a^{-1}		削减率	TP/ kg• ha^{-1}• a^{-1}		削减率	$\rho_{溶解性氮}$/ kg• ha^{-1}• a^{-1}		削减率
	实施前	实施后		实施前	实施后		实施前	实施后	
4	88. 86	39. 67	0. 55	0. 55	0. 43	0. 22	0. 77	0. 77	0. 00
8	70. 61	26. 44	0. 62	0. 38	0. 21	0. 44	0. 38	0. 30	0. 20
9	70. 20	23. 80	0. 66	0. 41	0. 22	0. 46	0. 28	0. 24	0. 16
30	71. 35	43. 44	0. 39	0. 45	0. 21	0. 54	0. 22	0. 22	0. 00
33	94. 72	74. 79	0. 21	0. 36	0. 20	0. 44	1. 08	1. 08	0. 00
39	140. 35	104. 76	0. 30	0. 52	0. 27	0. 48	1. 84	1. 84	0. 00
40	91. 81	61. 90	0. 31	0. 48	0. 24	0. 51	0. 72	0. 72	0. 00
44	117. 01	44. 10	0. 62	0. 28	0. 17	0. 40	0. 94	0. 74	0. 21
45	122. 13	35. 76	0. 71	0. 39	0. 22	0. 43	0. 82	0. 63	0. 23

3　问题与结论

PLOAD 模型是简化模型. 在 GIS 环境分析中该模型的参数是基于监测数据的, 它和经验系数之间是纯粹的线性关系. 即如果发现预设的参数通过简易法计算出的结果无法和实际监测值较好的吻合, 那么就可以依据实际监测值和模拟值之间的比例关系对经验系数进行校正, 可最终取得满意解. 该模型适用于调整分析和预测时间跨度不大的情况, 特别是预测实施 BMP 不久后的污染负荷. 而相对于复杂模型而言, 它不需要考虑物理过程等需要进行积分和多元非线性计算的结果, 也不需要针对本国的气候变化和植被覆盖情况取得物理参数, 进行深入分析. 因此 PLOAD 模型适合对研究区非点源的准确模拟且它对研究人员的数理知识要求不高, 较易推广应用.

PLOAD 模型的精髓是 BMP. 在本文中提出的分级缩小控制区方法同样适用于其它大型的流域非点源模型. 但是该优化控制方法仅仅只涉及到 BMPs 中的生态工程内容, 而真正广义的 BMPs 是指多 BMPs. 它包括了从污染源源头加以规划和控制的非结构化管理措施以及以生态工程和土地利用变更为代表的结构化管理措施. 笔者认为多 BMPs 要实现的是对降雨径流污染全过程综合控制. 而通过不同措施的污染削减负荷加以叠加即可实现对控制结果的模拟. 因此客观上需要在本文分级缩小控制区方法的基础上对 GIS 环境模型和规划模型的数据加以耦合计算, 最终实现在综合控制措施下对污染削减负荷的预测.

参考文献:

[1] Novotny V, Olem H. Water quality: prevention, identification, and management of diffuse pollution[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993.

[2] 胡雪涛, 陈吉宁, 张天柱. 非点源污染模型研究[J]. 环境科学, 2002, 3(23): 124- 127.

[3] 周慧平, 许有鹏, 葛小平. GIS 支持下非点源污染模型应用分析[J]. 水土保持通报, 2003, 3(23): 60- 63.

[4] USEPA. Preliminary data summary of urban storm water best management practices [EB/OL]. http: // www. epa. gov/ ost/ stormwater/ usw_a. pdf, 1999.

[5] United States Department of Transportation- Federal Highway Administration. Stormwater best management practices in an ultra-urban setting: selection and monitoring [EB/OL]. http: //www. fhwa. dot. gov/ environment/ ultraurb, 2003.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net