PDF Page Organizer - Foxit Software

·解析评价·

doi:10.3969/j.issn.1674-6732.2010.06.013

平原感潮河网地区非点源污染负荷匡算

季　晓,徐爱兰,陆　炜
(南通市环境监测中心站,江苏　南通　226006)

摘　要: 平原感潮河网地区非点源污染严重,由于具有交叉污染等特性,造成了整个平原河网存在严重的环境污染和环境安全问题。构建了大尺度非点源污染负荷匡算模型,对南通平原河网地区非点源污染负荷进行了匡算。根据不同的产污方式,将非点源污染分为城镇降雨径流污染、畜禽养殖污染、农田降雨径流污染、农村生活污染和水产养殖污染等 5 种类型,分别计算其流失过程。

关键词: 平原感潮河网地区; 圩区; 非圩区; 非点源污染负荷匡算;
中图分类号: X 830　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1674-6732(2010)-06-0041-05

Estimation of Non-point Source Pollution Load Plain Tidal River Networks

JI Xiao, XU Ai-lan, LU Wei
(Nantong Environmental Monitoring Central Station, Nantong, Jiangsu 226006, China)

ABSTRACT: The non-point source pollution in plain tidal river networks is serious. There is a serious environmental pollution problem in plain river networks for its intersectant pollution. The study designed a large-scale model to estimate the non-point source pollution load in Nantong. There were five types of different pollution modes such as municipal and town runoff, livestock and poultry raising pollution, paddy field runoff, rural domestic sewage, fish breeding pollution.

KEY WORDS: plain tidal river networks; polder areas; plain areas; estimation of non-point source pollution load

近 10 年来,南通平原感潮河网地区农业生产得到了快速发展,但生产生活方式具有非持续发展、高消耗的特点,由此带来的农业资源与环境问题日趋突出,农业非点源污染在长时期内已成为制约农业循环经济发展的重要因素之一[1]。

采用机理模型估算一个大尺度流域的非点源污染负荷过程非常复杂,须输入大量的模型参数和文本数据,就国内目前的基础数据供给能力和研究水平而言,难以满足模型对其的要求。笔者构建了大尺度非点源污染负荷匡算模型,对南通平原河网地区非点源污染负荷进行匡算。根据不同的产污方式,将非点源污染分为城镇降雨径流污染、畜禽养殖污染、农田降雨径流污染、农村生活污染和水产养殖污染等 5 种类型分别计算。

1　南通平原河网地区农业非点源污染特点及分布

南通平原河网地区分里下河流域及长江流域,其中里下河流域多分布着圩区,长江流域大多为平原非圩区。平原河网非圩区是农业活动比较频繁的地区,在降雨条件下随径流流失的农田营养盐是非点源污染物的重要来源[2-4]。圩区地表径流汇至河道再通过泵站排涝至外河。海安里下河圩区是南通地区圩区的主要分布地带,位于新通扬运河以北、通榆运河以西,总面积 422 km^2,现有防洪圩堤 750.52 km,形成独立防洪圩区 95 个。经过合并与泵站重建,目前共有圩区 81 个,主要分布于南莫镇、墩头镇、白甸镇、大公镇等。

结合南通平原河网地区的地貌和水系特征,可将该地区污染物迁移规律的特殊性概括如下:① 人口密度相对较大,且由于地势较低,需要大量的闸、泵等水利工程设施,使得水动力条件受人工影响较大。② 水系发达,水面率较高。随降雨-径流迁移的污染物往往先在沟、渠、荡等水面停留一段时间,再逐渐汇入周边河网。③ 地势相对低平,河道比降小,水流流向不定,往往呈现双向流;且一

收稿日期: 2009-07-016
基金项目: 江苏省环境监测科研基金项目(0805)。
作者简介: 季晓(1973—),男,注册环评工程师,本科,从事环境影响评价、环境监测、非点源污染治理研究。

PDF Page Organizer - Foxit Software

般位于河口附近,水流受潮汐的顶托作用明显,运动规律复杂。④ 圩堤一般是闭合的,利用节制闸或泵站进行内外水量的交换,因此圩区内的径流能否流入河网主要受人为控制。这种水量交换方式必然导致圩区内污染物的时空迁移特征与非圩区存在显著差异[5]。非点源污染路径见图 1。

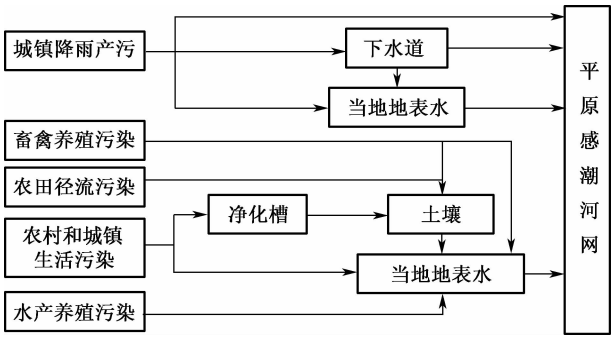

图 1　平原闸控感潮河网地区非点源污染路径

2　大尺度非点源污染负荷模型构建

2.1　匡算原理[6]

从非点源污染产生要素来看,污染形成主要取决于下列因素:① 地表污染物量的大小及存在形态(源强要素);② 降水冲刷产流过程的影响程度(产流要素)。前者是地区社会经济特征的综合反映,包括城市基础设施建设、居民的生活水平、渔牧业养殖情况等;后者则体现出区域的自然环境面貌,包括气候条件、土壤类型、地形地貌特征等。

2.2　农田径流污染

(1) 旱地径流污染

旱地径流污染负荷量估算方法主要依据“先锋镇利民村试验小区不同土地利用在自然降雨-径流驱动下的营养盐迁移特征的试验”结论[7]。

研究表明,与营养盐浓度相比,不同土地利用的营养盐迁移通量与径流量有更好的响应关系,这说明不同土地利用方式下的径流量差异是导致营养盐迁移通量存在显著差异的主导因素。因此,营养盐迁移通量估算的关键在于径流通量[8]。

该地区与非点源污染迁移密切相关的地形地貌及气候特征的时空差别较小,试验小区的研究条件接近真实环境,试验结果能够较准确地反映这类地区农田营养盐随地表径流迁移的时空变化特征。因此以多场降雨 - 径流事件回归分析得到的迁移通量与径流通量的经验公式可以作为旱地营养盐通量估算的重要依据。采用线性函数关系对迁移通量与径流通量进行拟合。

$$q_i = a \times R_d + b \tag{1}$$

式中:q_i——污染物迁移通量;R_d——旱地径流通量;a、b——回归方程的系数,可以根据具体的试验数据进行调整。

根据上述相关关系,估算各个计算单元 R_d 对应的 q_i,再计算单元旱地的产污速率。

$$WD_i = q_i \times A_{di} \tag{2}$$

式中:WD_i——旱地的产污速率;A_{di}——计算单元内的旱地面积。

(2) 稻田径流污染

水田产水过程不同于旱地,只有当田面水深度超过水稻耐淹水深或水田发生弃水时,田面水中的污染物才会随稻田水排出,进入当地地表水。另外,稻田营养盐经过一段时间,会在水—土界面达到吸附与解吸的动态平衡。王鹏根据水田产流产污的特点,提出“水箱”掺混模型模拟水田的产污过程[5]。根据文献[7]研究成果,稻田一年中稻季(一般是 6—9 月,约 120 d)的污染物 COD、BOD_5、TN、TP、NH_3 - N 的产污量约为 0.308, 0.051, 0.082, 0.004, 0.026 t/hm^2。

2.3　农村生活、畜禽养殖、水产养殖污染

采用当量计算模式计算与降雨-径流无关的污染负荷量,污染源包括城镇居民(无污水处理厂)、农村居民、畜禽养殖和水产养殖等 5 种。

$$W_{pi}^{j} = N_i \times R_i^j \tag{3}$$

式中:W_{pi}^{j}——第 i 种污染源第 j 种污染物的污染物产生量;N_i——第 i 种污染源的数量;R_i^j——第 i 种污染源第 j 种污染物的污染负荷当量。

对于不同的污染源,公式中变量的具体含义有所差别。计算农村居民的污染物产生量时,N_i 为农村居民的数量,R_i^j 为农村居民的产污当量。计算畜禽养殖时,N_i 为畜禽养殖的数量,R_i^j 为畜禽的产污当量。计算水产养殖时,N_i 为水产养殖的数量,R_i^j 为水产养殖的产污当量。

2.4　城镇降雨径流污染

对特大城市和地级市采用污染物累积-径流冲刷模型计算随降雨径流进入受纳水体的污染

PDF Page Organizer - Foxit Software

负荷[9]；对面积相对较小，但数量众多的城镇采用平均浓度法，即用降雨径流模型计算得到的小城镇径流通量乘以径流中各种污染物的平均浓度得到污染负荷通量。不考虑城市的降雨径流污染，将其作为点源处理。径流通量根据 SWAT 模型中径流公式计算得到[8]。

小城镇及附近农村降雨地表径流 N、P 负荷是区域重要的非点源污染源，城镇附近农村居民点降雨径流的 TN、TP 和 NH_3-N 质量浓度分别达 7.26 ±4.43，2.21 ±0.90 和 1.16 ±0.68 mg/L，城镇商业区和居民点降雨径流 TN、TP 质量浓度相对较低，但大大超过地面水Ⅴ类水质标准[10]。

2.5　入河量计算

以污染负荷的产生量为计算条件，估算各种污染源以不同的入河路径经过各个处理单元处理后的污染物入河量。处理单元包括污水处理厂、净化槽、下水道、当地地表水和土壤 5 种[5]。

根据污染负荷产生量、污染路径比例系数以及处理单元的处理效率，计算污染物入河量。

$$W_i^e = \sum_{i=1}^{n} W_i^p \times p_i^j (1 - f_k) \qquad (4)$$

式中：W_i^e——第 i 种污染源的污染物入河量；W_i^p——第 i 种污染源的污染物产生量；p_i^j——第 i 种污染源第 j 条入河路径的比例；f_k——第 k 种处理单元的净化率。

由于平原河网区的河道复杂，一部分污染物尤其是非点源污染物在随降雨径流迁移后，一般先汇入地表水，经过一段时间再逐渐汇入河网。污染物在地表水中的水力停留会使得其中一部分发生沉降和降解等理化作用，对水质起到天然的净化效果[5]。污水在下水道流动过程中，一部分污染物将以颗粒态形式沉积，所以下水道对水质也有一定的净化效果。

3　南通平原河网地区非点源污染负荷量匡算

3.1　非点源污染负荷计算参数

（1）污染物当量：产生模块的污染物当量数据主要依据《太湖流域污染源调查及污染负荷分析》报告中的相关数据，并结合水质监测资料加以率定，其取值范围见表 1。

表 1　各种污染源污染物当量取值范围　　kg/a

产生模块	污染物当量				
	$m(COD_{Cr})$	$m(BOD_5)$	$m(TN)$	$m(TP)$	$m(NH_3-N)$
城镇人口	18.7 ~ 28.0	9.2 ~ 15.3	7.5 ~ 10.0	0.4 ~ 0.6	3.1 ~ 5.2
农村人口	17.3 ~ 26.2	9.2 ~ 15.3	7.4 ~ 9.8	0.4 ~ 0.6	3.1 ~ 5.2
牛	223.4 ~ 337.4	149.0 ~ 247.0	51.8 ~ 69.3	7.2 ~ 11.0	19.6 ~ 32.7
猪	23.9 ~ 36.2	20.0 ~ 33.1	3.7 ~ 4.9	1.7 ~ 2.7	1.7 ~ 2.87
羊	4.0 ~ 5.98	2.1 ~ 3.4	3.5 ~ 4.7	1.0 ~ 1.6	0.4 ~ 0.7
家禽	1.0 ~ 1.5	0.9 ~ 1.5	0.21 ~ 0.28	0.14 ~ 0.22	0.09 ~ 0.17
水产养殖	670.5 ~ 1 012.8	117.0 ~ 193.7	85.6 ~ 114.5	7.9 ~ 12.1	14.0 ~ 23.4

（2）污染源入河路径比例：在平原河网区，由于沟、渠等水面众多，各种污染源所产生的污染物并非直接进入河网，因此需要对其入河路径进行概化，进而计算各种污染物的入河量（表 2）。

表 2　各种污染源污染物入河路径

污染源	入河路径	比例系数
城镇生活污染	城镇居民—净化槽—土壤—当地地表水—河网；城镇居民—当地地表水—河网	0.85 0.15
农村生活污染	农村居民—净化槽—土壤—当地地表水—河网；农村居民—当地地表水—河网	0.6 ~ 0.7 0.3 ~ 0.4

PDF Page Organizer - Foxit Software

续表 2

污染源	入河路径	比例系数
城镇降雨径流	城镇降雨—下水道—当地地表水—河网;城镇降雨—河网; 城镇降雨—当地地表水—河网;城镇降雨—下水道—河网	0.1 0.3 0.5 0.1
旱地降雨径流	旱地降雨径流—土壤—当地地表水—河网	1.0
稻田降雨径流	稻田降雨径流—土壤—当地地表水—河网	1.0
畜禽养殖污染	畜禽养殖—土壤—当地地表水—河网;畜禽养殖污染—当地地表水—河网	0.9 0.1
水产养殖污染	水产养殖——当地地表水——河网	1.0

(3) 处理单元净化率:对平原河网区的各种处理单元加以概化,包括污净化槽、下水道、当地地表水和土壤 4 种类型。其中当地地表水指除了概化河网以外的各种水面,包括河、沟、渠等。根据《太湖流域河网水质研究》以及《太湖流域污染源调查及污染负荷分析》中的相关实验数据,确定各处理单元的处理率,见表 3。

表 3　模型处理模块处理率取值范围

处理模块	处理率/%				
	COD_{Cr}	BOD_5	TN	TP	NH_3-N
净化槽	21 ~ 34	22 ~ 35	4 ~ 8	5 ~ 9	11 ~ 20
下水道	3 ~ 8	3 ~ 8	3 ~ 7	5 ~ 9	3 ~ 8
地表水	22 ~ 34	23 ~ 35	38 ~ 43	25 ~ 32	32 ~ 45
土壤	80 ~ 91	83 ~ 91	82 ~ 89	95 ~ 97	80 ~ 92

经过调研,城镇生活污水有 85% 左右进入净化槽,所以其余两条路径的比例应在 15% 左右。下水道大概能收集 80% 左右的雨水,所以其余两条路径的比例应在 20% 左右。畜禽养殖所产生污染物的绝大部分(约 90%)先进入土壤,再随降雨径流进入地表水。化肥施入土壤后,会随降雨径流进入地表水,采用前述的模式计算其流失量。农村生活中化肥的使用比例不断上升,而人畜粪便等有机肥的使用比例却不断下降,相当一部分直接排入地表水。鱼塘的平均换水周期为 1 ~ 2 次/a,导致大量鱼类粪便和饵料残渣等营养物进入周边水体,对水环境的影响较大。

由表 3 可见,土壤对污染物的去除效率最高,只有很少一部分随降雨产生的径流汇入河网。实验研究发现,净化槽对氨氮的去除有负效应,即氨氮在净化槽中呈增加状态,这是由于污染物经净化槽处理后,一部分有机氮将矿化分解生成氨氮。下水道对污染物的去除率最低,平均为 5%。

3.2　社会经济资料

社会经济资料用于计算非点源污染物入河量,例如畜禽养殖、农村生活和水产养殖污染等。根据《2009 年南通统计年鉴》,2008 年南通市总人口 764.93 万,其中城镇人口 321.6 万;鱼塘淡水养殖面积 4.3×10^8 m^2。计算时应按表 4 中城镇人口扣除集中式污水厂接纳生活污水管网覆盖人口,城镇居民生活污水接入污水厂按 50% 计算。

表 4　行政区社会经济资料

产生模块	市区	通州区	海门市	如东县	启东市	如皋市	海安县
城镇人口	875 087	467 835	476 072	178 336	223 929	490 015	504 679
农村人口	106	774 845	525 204	878 398	890 182	919 170	433 373
牛/万头	0.24	0.25	0.38	0.15	0.40	0.04	0.05
猪/万头	9.20	48.86	12.65	75.21	20.70	90.35	70.50
羊/万头	2.96	26.05	43.95	24.54	54.25	22.20	38.80
家禽/万只	131.51	1 246.64	1 210.86	2 542.13	1 479.10	2 303.50	2 420.32
水产养殖面积/10^3 hm^2	0.833	6.04	5.67	8.00	11.65	6.07	4.75
稻田/$10^3 hm^2$	5.46	30.97	1.59	55.55	0.01	49.54	37.72
旱地/$10^3 hm^2$	20.18	107.71	107.53	116.91	152.06	101.15	65.58

PDF Page Organizer - Foxit Software

3.3　非点源污染负荷计算结果

按照非点源污染负荷的统计计算方法,得到2008 年南通平原河网区非点源入河量,见表 5。

表 5　2008 年南通平原河网区非点源污染负荷入河量　　万 t

产生模块	$m(COD_{Cr})$		$m(BOD_5)$		$m(TN)$		$m(TP)$		$m(NH_3-N)$	
	产生	入河	产生	入河	产生	入河	产生	入河	产生	入河
农田旱地径流	3.13	2.50	0.47	0.38	0.53	0.42	0.03	0.02	0.12	0.10
农田稻田径流	5.58	4.46	0.93	0.74	1.50	1.20	0.06	0.05	0.46	0.37
生活污染	9.75	5.38	6.67	3.83	2.57	1.29	0.15	0.10	1.37	0.69
水产养殖污染	2.92	2.63	0.52	0.47	0.39	0.35	0.03	0.03	0.07	0.06
畜禽养殖污染	11.33	3.20	10.20	2.87	2.38	0.83	1.70	0.28	1.13	0.58
城镇降雨径流	4.50	1.35	1.40	0.42	0.80	0.24	0.22	0.07	0.14	0.04
合计	37.21	19.52	20.19	8.71	8.17	4.33	2.19	0.55	3.29	1.84

由表 5 可知:(1) 南通平原河网地区非点源 COD_{Cr}入河量为 19.52 万 t;农田径流产污量所占比例最大,占总量的 35.6%;其次是农村生活污染,占 27.6%。(2) 该地区非点源 BOD_5 入河量为 8.71万 t;农村居民产生比例最大,占总量的 44.0%;其次是畜禽养殖污染,占 32.9%。(3) 该地区非点源 TN 入河量为 4.33 万 t;农田径流产污的比例最大,占总量的 37.4%;其次是农村生活污染,占 29.8%。(4) 该地区非点源 TP 入河量为 0.55万 t;畜禽养殖污染产生比例最大,占总量的 50.9%;其次是农村居民产污,占 18.2%。(5)该地区非点源 NH_3-N 入河量 1.84 万 t;农村居民产污的比例最大,占总量的 37.5%;其次是畜禽养殖产污,占 31.5%。

4　问题与建议

总体而言,南通市平原河网地区各种非点源污染的构成中,农村居民所产生的 BOD_5、COD_{Cr}最多,农村居民、畜禽养殖和农田径流是非点源 TN 和 NH_3-N 的主要来源;农村居民和畜禽养殖产生的 TP 占入河总量的大部分。在野外试验和估算模式的实践中,发现仍然存在以下问题亟待解决。

(1) 由于流域在地形特征、土壤特征及气象条件上所具有空间复杂性,使得一些在小区或更微观尺度内获得的关于径流、土壤侵蚀和污染物迁移的研究成果难以向流域尺度推广。今后要着力解决小尺度研究成果如何向流域尺度推广的问题。

(2) 本研究对平原河网区污染物负荷计算方法虽然建立在一定的理论基础上,但是缺少必要的试验支撑,如城镇降雨污染物浓度缺乏支撑数据,稻田径流污染产污量时间周期不明确,污染源入河路径比例概化依据不充分,地上、地表水对不同的源(如畜禽养殖、降雨、生活污水)等的去除效率简单,尚需相关试验研究。

(3) 从南通平原河网地区非点源污染负荷的计算成果看出,畜禽和水产养殖污染在非点源污染的构成中占有相当的比例,应当加强畜禽和水产养殖污染排放去向及污染负荷的定量化估算等研究工作。

[参考文献]

[1] 季晓,徐爱兰,陆炜. 平原感潮河网地区非点源污染监测方法[J]. 环境监控与预警, 2009,1(2):18-21.

[2] 王腊春,彭鹏,周寅康,等. 温润地区平原圩区产流机制研究[J]. 南京大学学报,1997,33(1):156-160.

[3] 詹红丽. 大型圩区水环境随机模拟模型及应用研究[D]. 南京:河海大学,2005.

[4] 曾德付. 基于 GIS 下太湖流域典型圩区农业非点源污染研究[D]. 南京:河海大学,2005.

[5] 王鹏. 基于数字流域系统的平原河网区非点源污染模型与应用[D]. 南京:河海大学,2006.

[6] 郝芳华,程红光,杨胜天. 非点源污染模型——理论方法与应用[M]. 北京:中国环境科学出版社,2006.

[7] 南通市环境监测中心站. 平原河网地区非点源污染产污规律及控制研究报告[R]. 2010.

[8] 徐爱兰. 太湖流域典型圩区农业非点源产污规律及模型研究[D]. 南京:河海大学,2007.

[9] PAVONI J L. Handbook of water quality management planning [M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1977.

[10] 夏立忠,杨林章,吴春加,等. 太湖地区典型小城镇降雨径流 NP 负荷空间分布的研究[J]. 农业环境科学学报,2003,22(3): 267-270.

(本栏目编辑　周立平)