

古蔺河流域古蔺县段农业非点源污染综合评价

李小丽¹, 敖天其^{1,2}, 黎小东¹

(1. 四川大学 水利水电学院, 成都 610065; 2. 四川大学 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 成都 610065)

摘 要:为了准确估算古蔺河流域古蔺县境内农业非点源污染的输出负荷, 确定出农田地表径流、畜禽养殖和农村居民生活污染中 TN、TP 输出量对水环境不同程度的影响。基于输出系数法, 对研究区内三种污染源和两种污染物进行农业非点源污染综合评价, 得到以下结果: 研究区内农业非点源污染的输出总量为 4 051.14 t/a。其中 TN 负荷量为 3 738.50 t/a, TP 为 312.64 t/a。从污染源角度分析, 农田地表径流、畜禽养殖和农村居民生活三种污染源的总等标污染负荷比分别为 16.57%, 37.97%, 45.45%。从污染物角度分析, TN、TP 两种污染物的总等标污染负荷比分别为 70.51% 和 29.49%。结果表明, 农村居民生活和畜禽养殖污染是研究区内最主要的污染源, TN 负荷量远大于 TP 为主要污染物, 根据研究区的水污染情况, 有针对性地提出农业非点源污染的防控措施。

关键词:农业非点源污染; 输出系数模型; TN、TP 负荷; 综合评价; 古蔺河流域

中图分类号: X52

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)05-0327-05

Study on Estimating Method of Agricultural Non-point Source Pollution Based on Export Coefficient Theory

LI Xiaoli¹, AO Tianqi^{1,2}, LI Xiaodong¹

(1. College of Water Resource & Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In order to accurately calculate export loads of agricultural non-point source from Gulin River within the territory of Gulin County, TN and TP export loads for farmland surface runoff pollution, livestock pollution and pollution of agricultural population were determined. Based on export coefficient model, we comprehensively evaluated agricultural non-point source pollution of study area by using three kinds of pollution sources and two kinds of pollutants, and drew the following conclusions. The total pollution load from agricultural non-point pollution source was 4 051.14 t/a. The loads of TN and TP were 3 738.50 t/a and 312.64 t/a. From the perspective of the pollution source, the total standard pollution load rates of farmland surface runoff, livestock and agricultural population were 16.57%, 37.97%, 45.45%, respectively. From the perspective of the pollutants, the total standard pollution load ratio of TN and TP were 70.51% and 29.49%, respectively. The results showed that rural resident living sewage and livestock pollution were the most main pollution sources. TN load was much greater than TP load so that TN load was the most main pollutant. With respect to the situation of water pollution, the agricultural non-point source pollution prevention and control measures were put forward.

Keywords: agricultural non-point source pollution; export coefficient model; TN load and TP load; comprehensive evaluation; Gulin River Basin

水环境污染的来源由两部分构成点源污染和非点源污染。近年来随着我国实施强化流域水资源环境综合整治, 使得由点源污染引起的水环境污染问题

得到了有效控制, 而其中非点源污染则成为河流湖泊水体富营养化的主要影响因素, 特别是农业非点源污染问题显得尤为突出。一方面, 随着农业的发展, 化

收稿日期: 2016-05-01

修回日期: 2016-06-02

资助项目: 中国气象局成都高原气象研究所开放资助项目 (LPM2014003); 四川省科技厅科技支撑项目 (2015SZ0212); 四川省环境保护厅科技项目 (11HBT-01)

第一作者: 李小丽 (1990—), 女, 河北衡水人, 硕士研究生, 研究方向为农村非点源污染与分布式水文模型。E-mail: m18328005980@163.com

通信作者: 敖天其 (1964—), 男, 重庆铜梁人, 教授, 博士生导师, 研究方向为农村非点源污染与分布式水文模型。E-mail: als584@163.com

肥农药的大量施用造成许多污染物质随农田排水或者降水进入河流污染水体;另一方面,在我国农村地区,由于养殖业的迅速发展和人口的加剧,加之排污管道和污水集中处理系统尚未健全,导致大量污水、污染物随意排放,对水环境造成严重影响。因此,要从根本上解决我国水污染问题,关键还是必须把农业污染防治尽早纳入环境保护的议程中,对流域农业非点源污染的防治引起高度重视^[1],而其中的小流域农业非点源污染则是水体污染的重要原因之一^[2]。

为了能更好地解决流域水生态环境问题,从根本上改善流域的水环境状况,我国就农业非点源污染研究主要从污染负荷计算及防治控制对策两方面着手。由于农业非点源污染的监测难度过大,缺乏可用的基础性数据资料,难以进行基于物理性质的机理模型模拟,为了满足对流域水污染控制和治理的需要,在保证一定精度条件下建立了经验模型进行农业非点源污染的评估^[3-5]。输出系数模型作为经验模型的一种,以其参数少,操作简便和具有相对稳定性而被许多国家广泛应用^[6]。输出系数模型采用的是“黑箱”原理,通过土地利用、牲畜和人口等数据资料来估算流域非点源污染物 TN,TP 的输出量,将非点源污染复杂的形成过程简化,从而降低对污染物在流域迁移转化过程监测数据的依赖性^[7]。由于农业非点源污染中氮磷元素超标排放是造成水体富营养化的直接原因,本文通过采用输出系数法,对古蔺河流域古蔺县段的农田地表径流污染、畜禽养殖污染、农村居民生活污染三大污染源和 TN,TP 两种污染物进行农业非点源污染综合评价并提出整治该地区水环境污染的合理性建议。

1 输出系数模型

1.1 输出系数模型介绍

Johnes 等^[8]在前人的基础上经过长期研究和实践,建立了更为完备的输出系数模型,综合考虑了土地利用类型、牲畜、人口等因素的影响和不同污染源类型的输出系数,有效提高了模型的模拟精度,使其得到了进一步完善和广泛应用。模型的一般表达式为:

$$L=\sum_{i=1}^nE_i[A_i(I_i)]+p$$

式中: L 为营养物的流失量(t/a); E_i 为营养源 i 的输出系数 $[t/(km^2 \cdot a)$ 或 $kg/(人 \cdot a)$ 或 $kg/(头 \cdot a)$]; A_i 为土地利用类型 i 的面积(km^2),或畜禽养殖类型 i 的数量(只或头),或流域的人口数量(人); I 为对污染源 i 的输入量(t/a); p 为来自降水的营养物输入(t/a)。

1.2 输出系数确定

目前,国内在输出系数模型方面的研究已取得显

著成果,许多学者更是针对不同地区上的不同污染源进行了分析和总结。其中,输出系数的种类和取值作为输出系数模型的关键,在很大程度上反映了研究区域非点源污染的输出强度,成为模型研究的重点问题^[9]。

输出系数决定了每种确定的污染源向水体排放污染物(TN,TP)的输出率,国内外通常采用三种方法来确定不同地区的输出系数:文献综合法、科学试验法和水位统计法^[10]。在实际工作中,一般根据流域的实际情况,并在前人研究成果的基础上,修正得出合理的输出系数。由于缺乏必要的监测数据,本研究在结合实地调查的基础上,采用文献综合法对输出系数进行确定。丁晓雯^[11-12]、刘瑞民^[13]等通过利用水文统计法对长江上游多个流域进行研究,得出了一套适合长江上游地区不同污染源 TN,TP 的输出系数。古蔺河流域分布于长江上游地区,为赤水河的一级支流,输出系数主要借鉴于长江上游地区,尤其是四川省境内的研究文献,同时也参考了国内其他流域研究成果^[14-16],并结合研究区的实地情况,确定出本研究区的输出系数,见表 1。

表 1 研究区各污染源的综合输出系数值

污染源类型	TN	TP
旱地/ $(t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1})$	0.23	0.0092
水稻田/ $(t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1})$	0.15	0.0094
果园/ $(t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1})$	0.08	0.0050
天然林地/ $(t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1})$	0.238	0.0150
荒地/ $(t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1})$	1.49	0.0510
建设用地/ $(t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1})$	1.10	0.0240
居民生活污水/ $[kg/(人 \cdot a)]$	1.87	0.2140
大牲口/ $[kg/(头 \cdot a)]$	7.32	0.3100
猪/ $[kg/(头 \cdot a)]$	1.39	0.1420
羊/ $[kg/(头 \cdot a)]$	1.40	0.0450
家禽/ $[kg/(头 \cdot a)]$	0.06	0.0050
农业人口/ $[t/(万人 \cdot a)]$	21.40	1.6000

2 应用实例

2.1 研究区概况

古蔺河是赤水河左岸的一级支流,流经古蔺县境内,流域面积 $965 km^2$,河长 $70.7 km$,河床平均比降 18.4% 。古蔺河上游地区为山区河流,径流主要由降雨补给。河谷狭窄,坡陡水急,中下游地区地势相对较低,河谷宽窄相间,两岸分布着全县主要的良田、耕地。古蔺河的主河道自西向东穿城而过,承担着古蔺县境内生产、纳污、泄洪等城市生态水环境功能,但流域内降雨量较少,生态环境脆弱,蓄水保水能力低下,形成地表径流低,而古蔺县规划滞后,城镇功能分区

混杂,城市生活污水处理达标率不到 10%,导致古蔺河城区段水环境质量低下,近几年水质均在 V 类以下,长此以往不仅影响流域自身的生态环境,也会对上游赤水河段造成水环境危害。

2.2 研究数据准备

本研究基于输出系数法模拟的数据内容主要包括 2013 年古蔺河流域古蔺县境内农业非点源污染三类污染源;土地利用类型为旱地、水稻田、果园、天然林地、荒地和建筑用地;畜禽养殖类型是大牲口、猪、羊和家禽,由于集中式畜禽养殖污染物采用沼气池处理,对农业非点源污染影响较小,可忽略;农业人口。两种污染物为 TN 和 TP。其中,土地利用类型由四川省古蔺县国土局提供,各类土地利用面积数据则是根据 GIS 的空间分析功能从 2013 年土地利用类型图斑中统计得到;畜禽及人口数量数据主要来源于古蔺县畜牧局和统计局。

3 非点源污染 TN,TP 负荷量的计算及分析

基于输出系数模型对各类污染源进行农业非点源污染 TN,TP 负荷量的计算,并通过等标污染负荷法^[17]

把各污染源和污染物转化为统一标准,综合评价各污染源和污染物对环境的影响程度。从等标污染负荷角度分析各污染源对入河总等标污染负荷的贡献度,确定出研究区内各类污染源污染水环境的主要方式。

从表 2 可以看出,古蔺河流域古蔺县段的非点源 TN,TP 的输出量分别为 3 738.50 t/a 和 312.64 t/a,可见水环境中非点源污染形势相当严峻^[18]。总等标污染负荷比中 TN 远大于 TP,负荷比为 2.39:1。农田地表径流中 TN 等标污染负荷量为 686.74 t/a,TP 为 191.94 t/a,导致二者比例严重失调的主要诱因是农民为了获得农业增产而对化肥农药的不合理施用;畜禽养殖中 TN 等标污染负荷量为 1 519.01 t/a,TP 为 494.24 t/a,由于农村散养畜禽养殖缺乏规模化污染处理系统,且忽视畜禽粪便和养殖废水给水环境带来的危害,加重了对周围水源和地表水的污染;农村居民生活污染对 TN,TP 的贡献度最大,TN 等标污染负荷量为 1 532.75 t/a,TP 为 877.03 t/a,农村居民住房分散没能形成集中的污染处理系统,加之村民环境保护意识不足,导致生活垃圾和生活污水不能及时进行处理,随意排入自然环境中,直接造成了地表水体的污染。

表 2 研究区各类污染源 TN,TP 负荷量计算

污染源类型		TN/ (t·a ⁻¹)	TN 等标 污染负荷	TN 负 荷比/%	TP/ (t·a ⁻¹)	TP 等标 污染负荷	TP 负 荷比/%
天然地	天然林地	438.90	438.90	11.74	27.66	138.31	8.85
	荒地	0.60	0.60	0.02	0.02	0.10	0.01
	旱地	190.53	190.53	5.10	7.62	38.11	2.44
农田	水稻田	44.16	44.16	1.18	2.77	13.84	0.89
	果园	1.08	1.08	0.03	0.07	0.34	0.02
建设用地		11.47	11.47	0.31	0.25	1.25	0.08
畜禽养殖	大牲口	815.57	815.57	21.82	34.54	172.69	11.05
	猪	548.19	548.19	14.66	56.00	280.00	17.91
	羊	90.46	90.46	2.42	2.91	14.55	0.93
	家禽	64.79	64.79	1.73	5.40	27.00	1.73
农业人口		1532.75	1532.75	41.00	175.41	877.03	56.10
总计		3738.50	3738.50	100.00	312.64	1563.21	100.00

注:等标污染负荷的单位为(t·a⁻¹)/(mg·L⁻¹),下表同。

表 3 给出了农田径流污染、畜禽养殖污染以及农村居民生活这三类污染源的年入河总量为 4 051.14 t。比较两种污染物 TN,TP 的贡献度,其中农村居民生活污染对非点源 TN,TP 的贡献度最大,分别占总等标污染负荷的 28.91%和 16.54%;畜禽养殖污染对非点源 TN,TP 的贡献度次之,分别占总等标污染负荷的 28.65%和 9.32%;最后是农田径流污染对 TN,TP 的贡献度分别为 12.95%和 3.62%。说明 TN,TP 污染主要污染源是农业居民生活和畜

禽养殖。

从土地利用类型的角度来看,农田径流污染的年入河总量为 725.12 t。污染物 TN,TP 的等标污染负荷总趋势相同,其中天然林地的污染物 TN,TP 污染负荷量最大,分别占总等标污染负荷的 49.95%和 15.74%;旱地的污染物污染负荷量次之,分别占总等标污染负荷的 21.68%和 4.34%;再次是水稻田的污染负荷量,分别占总等标污染负荷的 5.03%和1.57%;最后是建筑用地、果园和荒地,它们产生的污染负荷微

乎其微,可忽略不计。由此说明,天然林场、旱地和水稻田是农田地表径流污染的主要来源,见表 4。

表 3 研究区各类污染源入河等标污染负荷值

污染源	入河量/(t·a ⁻¹)			等标污染负荷			总等标污染负荷比/%		
	TN	TP	小计	TN	TP	小计	TN	TP	小计
农田地表径流	686.74	38.39	725.12	686.74	191.94	878.68	12.95	3.62	16.57
畜禽养殖	1519.01	98.85	1617.85	1519.01	494.24	2013.25	28.65	9.32	37.97
农村居民生活污水	1532.75	175.41	1708.16	1532.75	877.03	2409.79	28.91	16.54	45.45
合 计	3738.50	312.64	4051.14	3738.50	1563.21	5301.71	70.51	29.49	100.00

表 4 研究区农田地表径流污染入河等标污染负荷值

污染源	入河量/(t·a ⁻¹)			等标污染负荷			等标污染负荷比/%		
	TN	TP	小计	TN	TP	小计	TN	TP	小计
天然林地	438.90	27.66	466.56	438.90	138.31	577.20	49.95	15.74	65.69
荒地	0.60	0.02	0.62	0.60	0.10	0.70	0.07	0.01	0.08
旱地	190.53	7.62	198.15	190.53	38.11	228.63	21.68	4.34	26.02
水稻田	44.16	2.77	46.93	44.16	13.84	58.00	5.03	1.57	6.60
果园	1.08	0.07	1.15	1.08	0.34	1.42	0.12	0.04	0.16
建筑用地	11.47	0.25	11.72	11.47	1.25	12.72	1.31	0.14	1.45
合 计	686.74	38.39	725.12	686.74	191.94	878.68	78.16	21.84	100.00

从畜禽养殖种类的角度来分析,畜禽养殖污染的年入河总量为 1 617.85 t。大牲口和猪的等标污染负荷最大,TN 负荷中,大牲口和猪分别占总等标污染负荷的 40.51%和 27.23%,TP 负荷中为 8.58%

和 13.91%;其次是羊和家禽,TN 负荷中,羊和家禽分别占总等标污染负荷的 4.49%和 3.22%,TP 负荷中为 0.72%和 1.34%。由此说明,研究区内畜禽养殖污染主要来源于大牲口和猪,见表 5。

表 5 研究区畜禽养殖污染入河等标污染负荷值

污染源	入河量/(t·a ⁻¹)			等标污染负荷			等标污染负荷比/%		
	TN	TP	小计	TN	TP	小计	TN	TP	小计
大牲口	815.57	34.54	850.10	815.57	172.69	988.26	40.51	8.58	49.09
猪	548.19	56.00	604.19	548.19	280.01	828.20	27.23	13.91	41.14
羊	90.46	2.91	93.36	90.46	14.54	104.99	4.49	0.72	5.22
家禽	64.79	5.40	70.19	64.79	27.00	91.79	3.22	1.34	4.56
合计	1519.01	98.85	1617.85	1519.01	494.24	2013.25	75.45	24.55	100.00

4 结论与建议

本文基于提出的输出系数法对古蔺河流域古蔺县境内农业非点源污染 TN,TP 进行了综合评价,得出不同污染源对研究区内水环境造成了严重污染,针对不同污染源采取有效措施是减少污染物入河的关键,因此,根据实际情况在农田地表径流、畜禽养殖和农业人口等方面提出了相应的污染防治控制措施,以期来有效改善研究区的水质状况。

(1) 农田地表径流污染方面:古蔺县作为一个农业大县,化肥施用总量较大,但化肥的增产效果却不明显。主要是由于农民施肥凭经验,普遍存在盲目施肥和过量施肥现象,不但增加生产成本,浪费化肥,还造成农田地表径流污染。为了能有效控制氮磷元素进入水体,防止水环境污染,一方面针对农业生产结

构中,林业较少这一现象,对土地利用结构进行调整,使其合理化。另一方面可以通过科学合理施肥来减少化肥和农药的使用。增施有机肥,熟化培肥土壤是建设高产稳产农田的基础。重视秸秆还田,改善土壤物理性状。实行合理的轮作制,做到用地与养地相结合;加强低产土壤的改良利用。针对古蔺县内低产田低产原因,在改善灌溉条件的前提下,逐年加深耕层,增施有机肥,有条件的地方进行渗沙改土;若要提高耕地地力,提高作物产出,就要大力推广测土配方施肥^[19]。首先要了解作物的需肥规律、土壤的供肥性能和肥料效应,与现代信息技术紧密结合,科学的测土、配方、配肥、施肥。其次要开展技术指导,帮助农民选择肥料,确保施肥数量和最佳施肥时期,全面提高有机肥的施用量和施肥效益。

(2) 畜禽养殖污染方面:由于农村经济条件的限

制,政府没有针对畜禽散养户修建分散的污染处理系统,而畜禽养殖户自身也没有足够经济能力能够建立治污设施,加之有些养殖户缺乏环境保护意识,导致散养型畜禽养殖污染成为古蔺县内农业非点源污染的主要来源之一。改变现有养殖方式是控制散养型畜禽养殖污染的一个可行途径。对于散养型畜禽养殖,采取集约化养殖方式,建设规模化“养殖小区”,采用沼气池“厌氧处理+还田”的技术模式,对粪便和废水进行资源化利用或处理,有效减少畜禽养殖污染物入河量。对于畜禽养殖相对分散的地区,可推行生态养殖业—沼气—有机肥料—高效种植业的内循环模式,资源化利用畜禽粪污,通过农村沼气池等一系列措施从根本上减少污染物排放。

(3) 农业居民生活污染方面:农村居民生活污染是古蔺河流域古蔺县境内最主要的污染来源。由于村落及居民住房分散,且农村地区经济和技术条件有限,缺乏污染治理专业人员,多地尚未修建排污处理系统,任由农村居民将生活污水和生活垃圾排放于自然环境中,造成附近水体的污染。分散式污水处理装置具有布局灵活、施工简单、管理方便、出水水质有保障等特点,是解决农村分散式污水处理的有效途径之一。不过要注意污水处理系统的监控、保养和维护机制,确保污水处理系统长期有效的运行。对于农村生活垃圾,可向散户指定垃圾存放点,严禁垃圾乱堆乱放,尤其是垃圾入河,要定期进行河流垃圾的清理。另外,可尽量将农户集中,方便进行生活污水和生活垃圾处理,完善农村生活污水、垃圾的基础设施建设,改善农村环境。

(4) 加强农村环保宣传教育:农村居民缺乏基本的环境保护意识是造成农业非点源污染的元凶,大力加强农村环境保护宣传和环保教育,让广大群众切实认识到农村环境所面临的严重威胁是当务之急。合理施肥,节水灌溉,积极推进绿色农业,改善流域的水环境问题。

参考文献:

- [1] 李伟. 苕溪流域地表水水质综合评价与非点源污染模拟研究[D]. 杭州:浙江大学,2013.
- [2] 段慧,张丹,杨洪霞,等. 小流域非点源水污染特征分析研究[J]. 环境影响评价,2014(6):59-61.
- [3] 李怀恩,庄咏涛. 预测非点源营养负荷的输出系数法研究进

展与应用[J]. 西安理工大学学报,2003,19(4):307-312.

- [4] 蔡明,李怀恩,刘晓军. 非点源污染负荷估算方法研究[J]. 人民黄河,2007,29(7):36-39.
- [5] 中国环境规划院. 全国水环境容量核定技术指南[R]. 北京:中国环境规划院,2003.
- [6] 张洪波,李俊,黎小东等. 缺资料地区农村面源污染评估方法研究[J]. 四川大学学报:工程科学版,2013,45(6):58-66.
- [7] 黄国如,姚锡良,胡海英. 农业非点源污染负荷核算方法研究[J]. 水电能源科学,2011,29(11):28-32.
- [8] 薛利红,杨林章. 面源污染物输出系数模型的研究进展[J]. 生态学杂志,2009,28(4):755-761.
- [9] 杨维,杨肖肖,吴燕萍,等. 基于输出系数法核定双台子河非点源污染负荷[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版,2012,28(2):338-343.
- [10] 应兰兰,侯西勇,路晓,等. 我国非点源污染研究中输出系数问题[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(6):90-95.
- [11] 丁晓雯,刘瑞民,沈珍瑶,等. 基于水文水质资料的非点源输出系数模型参数确定方法及其应用[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2006,42(5):534-538.
- [12] 丁晓雯,沈珍瑶,刘瑞民,等. 长江上游非点源氮素负荷时空变化特征研究[J]. 农业环境科学学报,2007,26(3):836-841.
- [13] 刘瑞民,沈珍瑶,丁晓雯,等. 应用输出系数模型估算长江上游非点源污染负荷[J]. 农业环境科学学报,2008,27(2):677-682.
- [14] 陆建忠,陈晓玲,肖靖靖,等. 改进的输出系数法在农业污染源估算中的应用[J]. 华中师范大学学报:自然科学版,2012,46(3):373-378.
- [15] 毕雪,王晓媛. 基于输出系数模型的洞庭湖流域面源污染分析[J]. 人民长江,2012,43(11):74-77.
- [16] 李翠梅,张绍广,姚文平,等. 太湖流域苏州片区农业面源污染负荷研究[J]. 水土保持研究,2016,23(3):354-359.
- [17] 周理,吴玲玲,马亚丽,等. 基于GIS技术的濠溪河流域泸县境内农村非点源污染评估[J]. 水生态学杂志,2014,35(4):15-20.
- [18] 柯珉,敖天其,周理,等. 基于输出系数模型的西充河流域(西充县境内)面源污染综合评价[J]. 中国农村水利水电,2014(3):20-24.
- [19] 马亚丽,敖天其,张洪波,等. 基于输出系数模型濠溪河流域泸县段面源分析[J]. 四川农业大学学报,2013,31(1):53-59.