

张鹏远, 苟楚璇, 巫 杨, 等. 四川凯江流域农村非点源污染特征分析[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(5): 398-404.

ZHANG Peng-yuan, GOU Chu-xuan, WU Yang, et al. Characteristics of rural non-point source pollution in Kaijiang Basin of Sichuan Province[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(5): 398-404.

四川凯江流域农村非点源污染特征分析

张鹏远¹, 苟楚璇^{2,3}, 巫 杨^{2,3}, 张 德³, 李 飞³, 牟子申^{4,5*}

(1.大唐环境产业集团股份有限公司, 北京 100097; 2.成都埃实环境保护产业与发展研究院, 成都 610041; 3.四川中丹合创环保科技有限公司, 成都 610041; 4.成都理工大学环境学院, 成都 610059; 5.成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059)

摘 要:为探讨凯江流域农村非点源污染状况,防止区域非点源污染进一步加剧,本文选取农村生活源、畜禽养殖源、农田径流源3大污染源,以2015年为基准年,利用排污系数法估算了COD、NH₃-N和TP的污染入河负荷。结果表明,2015年凯江流域农村非点源污染入河COD、NH₃-N和TP总量分别为4 906.71、1 074.02、203.50 t;农村生活源对COD和NH₃-N的入河贡献率最大,畜禽养殖源对TP的入河贡献率最大;凯江流域入河污染物主要分布在中江县、三台县和罗江县,COD、NH₃-N和TP入河量之和分别占凯江流域该类污染物入河总量的84.52%、84.28%和89.72%,其中中江县的污染负荷入河量最大。研究表明,中江县、三台县和罗江县是凯江流域农村非点源污染产生的关键区域,需重点关注。

关键词:凯江流域;农村非点源污染;空间分布;农村生活;畜禽养殖;农田径流

中图分类号:X522

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2018)05-0398-07

doi: 10.13254/j.jare.2017.0307

Characteristics of rural non-point source pollution in Kaijiang Basin of Sichuan Province

ZHANG Peng-yuan¹, GOU Chu-xuan^{2,3}, WU Yang^{2,3}, ZHANG De³, LI Fei³, MOU Zi-shen^{4,5*}

(1. Datang Environment Industry Group Co., Ltd., Beijing 100097, China; 2. Chengdu Si-Shi Environmental Protection Industry Research and Development Institute, Chengdu 610041, China; 3. Sichuan Zhongdan Hechuang Environmental Science and Technology Co., Ltd., Chengdu 610041, China; 4. Chengdu University of Technology Institute of Environment, Chengdu 610059, China; 5. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: In order to investigate the Kaijiang River Basin rural non-point source pollution and prevent non-point pollution aggravated, this article choosed rural life source, livestock and poultry breeding source and farmland runoff source of pollution to estimate their load of chemical oxygen demand (COD), ammonia nitrogen (NH₃-N) and total phosphorus (TP) into the river in 2015 by using the blowdown coefficient method. The results showed that the total amount of COD, NH₃-N and TP was 4 906.71, 1 074.02 t and 203.50 t. The contribution of rural life sources to COD and NH₃-N was the largest, and the livestock and poultry breeding sources contributed most to TP contribution to the river. The pollutants in the river were mainly distributed in Zhongjiang County, Santai County and Luojiang County, the total amount of COD, NH₃-N and TP respectively accounted for 84.52%, 84.28% and 89.72% of the total amount of pollutants to the river. Among them, Zhongjiang County pollution load into the river was the largest.

Keywords: Kaijiang River Basin; rural non-point source pollution; spatial distribution; rural life; livestock and poultry breeding; farmland runoff

国内外许多研究表明,非点源污染是导致地表水污染的主要原因^[1-4],它的形成过程受区域自然环境和

社会环境等多种因素的影响,具有随机性、分散性、隐蔽性、不确定性和模糊性等特点,其中农村非点源污染的贡献率最大^[5-6]。农村非点源污染是指农村生活和进行农业生产的过程中产生的污染物,在降水和灌溉过程中,通过农田地表径流和农田排水等途径汇入地表水体引起的有机物、氮和磷污染^[7],一般来源于农村生活源污染、畜禽水产养殖、农业种植业施用的农

收稿日期:2017-12-06 录用日期:2018-04-04

作者简介:张鹏远(1981—),男,黑龙江绥化人,硕士,工程师,主要从事节能环保、废水资源化研究。

E-mail: zhangpy@dtg.com.cn

*通信作者:牟子申 E-mail: Mouzishen@126.com

药化肥、水土流失等^[8-10]。

凯江流域属嘉陵江水系,是涪江右岸的一级支流,流域所在地区雨量较为丰沛,地貌主要为丘陵和低山^[11]、水土流失强烈^[12],这类自然环境易造成非点源污染的形成,加上凯江流域范围内农业人口众多且密集,农事活动发达,农业、畜牧业发展模式粗放,以及农村生活污水随意排放等人为因素,更加剧了流域的水土流失和农村非点源污染^[13],从而对凯江流域水质影响较大,因此开展流域农村非点源污染的研究迫在眉睫。

本研究结合2015年凯江流域各区县统计年鉴和基础调查资料,运用排污系数法对凯江流域的农村非点源污染负荷进行估算,并对各区县污染排放总量和空间分布特征进行了分析,以探究凯江流域农村非点源污染的现状,为凯江流域农村非点源污染有效控制与管理提供决策支持。

1 材料与方法

1.1 凯江流域概况

凯江流域位于四川省中部,发源于绵阳市安州区高川乡,流域总面积2600 km²,河长213 km,河宽100~300 m,自然落差296 m,途经2市5区(绵阳市的安州区、三台县和德阳市的罗江县、旌阳区、中江县),涵盖了55个乡镇。根据《中国综合农业区划》,凯江流域地区位于四川盆地农林区(VI2区),所在区域属于亚热带湿润季风气候,全年气候温和,四季分明,雨

量充沛,见图1。

2015年末凯江流域涉及总人口164.37万,其中城镇人口36.48万,农村人口127.89万,耕地面积8.79万hm²,种植作物主要为粮食、稻谷、小麦、棉花、油料和蔬菜等,农田径流污染主要来源于种植业中化肥及农药的施用。畜禽养殖为规模化与散养并存,畜禽养殖种类主要包括生猪、肉牛、羊、鸡、鸭和兔。凯江流域的农村人口数量和农田面积参考2015年各区(县)统计年鉴,畜禽养殖量、农田化肥使用量来源于流域范围5区(县)农业部门的统计数据与调查数据,具体见表1。

表1 凯江流域各区(县)农村污染源基本数据(2015)

Table 1 Basic data of rural pollution sources in counties and districts of Kaijiang River Basin (2015)

区(县)	农村人口/ 万人	非农业人 口/万人	畜禽养殖/万头		农田面积/ 万hm ²
			规模化	散养	
安州区	21.16	3.09	7.85	—	1.70
罗江县	16.40	5.70	122.84	—	1.43
旌阳区	2.07	0.56	8.53	—	0.28
中江县	53.07	15.55	107.02	88.23	3.15
三台县	35.19	11.58	102.48	100.04	2.23
合计	127.89	36.48	348.72	188.27	8.79

注:畜禽养殖量按照“1头牛=5头猪,3只羊=1头猪,30只蛋鸡=1头猪,60只肉鸡=1头猪”折算为标准猪。

Note: The quantity of livestock and poultry was converted into standard pig according to "1 head cow = 5 pig, 3 sheep = 1 pig, 30 laying hens = 1 pig, 60 broiler = 1 pig".

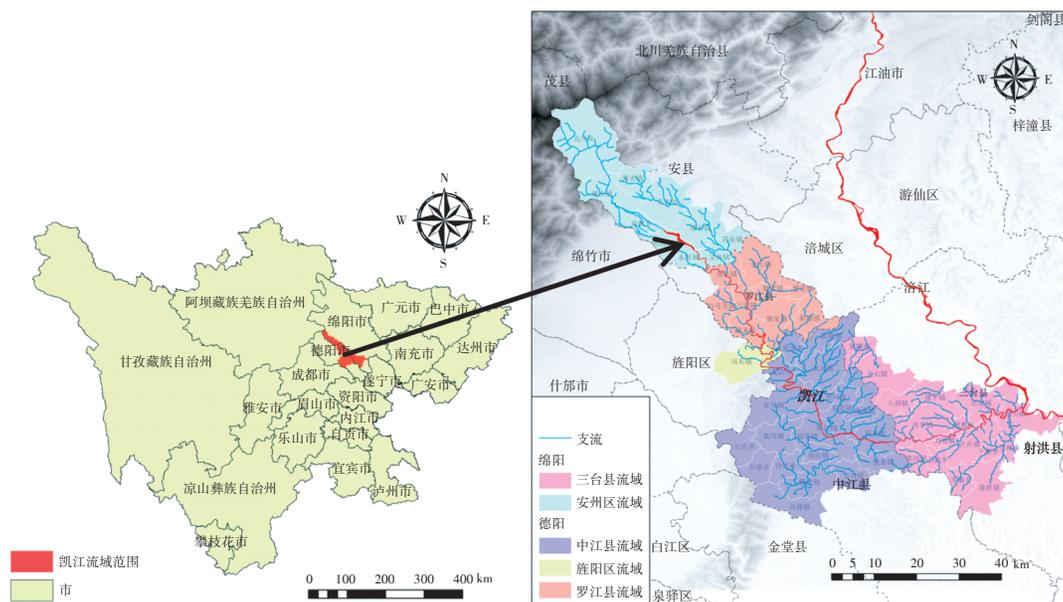


图1 凯江流域地理位置示意图

Figure 1 Sketch map of geographical position of Kaijiang River Basin

1.2 估算方法与排污系数

1.2.1 污染物排放量核算方法

农村生活源污染物的排放量计算公式:

$$W_{\text{排放}} = N \times \beta \times 365 \times 10^{-6} \quad (1)$$

式中: N 为农业人口数; β 为人均污染物排放系数, $\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$,参考《全国水环境容量核定技术指南》和《西南地区农村生活污水处理技术指南》中人均产污系数的推荐值,并结合四川盆地地理和气候条件及经济发展水平等因素,确定农村生活源人均污染物排放系数:农村生活污水 COD $16.4 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, $\text{NH}_3\text{-N}$ $4 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, TP $0.44 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$;农村生活垃圾 COD $17.5 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, $\text{NH}_3\text{-N}$ $1.75 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, TP $0.07 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

畜禽养殖源污染物的排放量计算公式:

$$W_{\text{排放}} = S \times P_i \times Z_j \times 10^{-6} \quad (2)$$

式中: S 为畜禽养殖动物存/出栏量,头; P_i 为不同养殖模式下的排污系数, $\text{g} \cdot \text{头}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; Z_j 为某种动物的生长周期,d,折后仍按原有品种来计算生长周期。凯江流域畜禽养殖为规模化与散养并存,排放系数参考《第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册》中“西南地区畜禽养殖产、排污系数表”,对每头标准猪的排污系数综合取值:规模化养殖 COD $6 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, $\text{NH}_3\text{-N}$ $1.2 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, TP $0.552 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$;分散畜禽养殖 COD $10 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, $\text{NH}_3\text{-N}$ $2 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, TP $0.92 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

参照《全国水环境容量核定技术指南》中推荐的“标准农田法”估算凯江流域的农田径流污染,农田径流源污染物的排放量计算公式:

$$W_{\text{排放}} = A \times \mu_i \times \omega \times 10^{-3} \quad (3)$$

式中: A 为农田面积, hm^2 ; μ_i 为标准农田源强系数,四川地区标准农田源强 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 系数分别为 150、30、 $1.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; ω 为修正系数,根据凯江流域的地理、气候条件,非标准农田修正系数选择:坡度 1.2,土壤类型 1.0,化肥施用量 1.2,降水量 1.2。

1.2.2 污染物入河量计算方法

确定入河量的关键是确定入河系数。农村生活污水和生活垃圾入河系数参考川中地区农村生活污染入河系数^[14-15],并结合凯江流域村镇分布情况,分别取值 0.3 和 0.05;畜禽养殖入河系数参考国内畜禽养殖流失系数研究^[16-18]及凯江流域畜禽养殖方式(大部分采取干清粪+还田处理),规模化畜禽养殖取值 0.2,分散化畜禽养殖取值 0.1;农田径流入河系数参考文献^[14]并考虑土壤综合作用,取值 0.05。

污染物入河总量计算公式^[18]:

$$W_{\text{总入河量}} = \sum_i^m \sum_j^n W_{\text{排放}ij} \times \psi_{ij} \quad (4)$$

式中: $W_{\text{总入河量}}$ 为污染物的入河总量, $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$; i 为某种污染源; j 为某种污染物; $W_{\text{排放}ij}$ 为第*i*种污染源第*j*种污染物的排放量; ψ_{ij} 为第*i*种污染源第*j*种污染物入河系数。

2 结果与分析

2.1 农村非点源污染入河总量及组成特征

2015年凯江流域5区(县)的农村非点源污染 COD 入河总量达到 4 906.71 t, $\text{NH}_3\text{-N}$ 入河总量达到 1 074.02 t, TP 入河总量达到 203.50 t。流域内农村非点源 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 污染入河总量及组成如图 2 所示, COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 入河总量高低顺序相同,依次为农村生活源>畜禽养殖源>农田径流源, TP 入河总量为畜禽养殖源>农村生活源>农田径流源。可以看出,

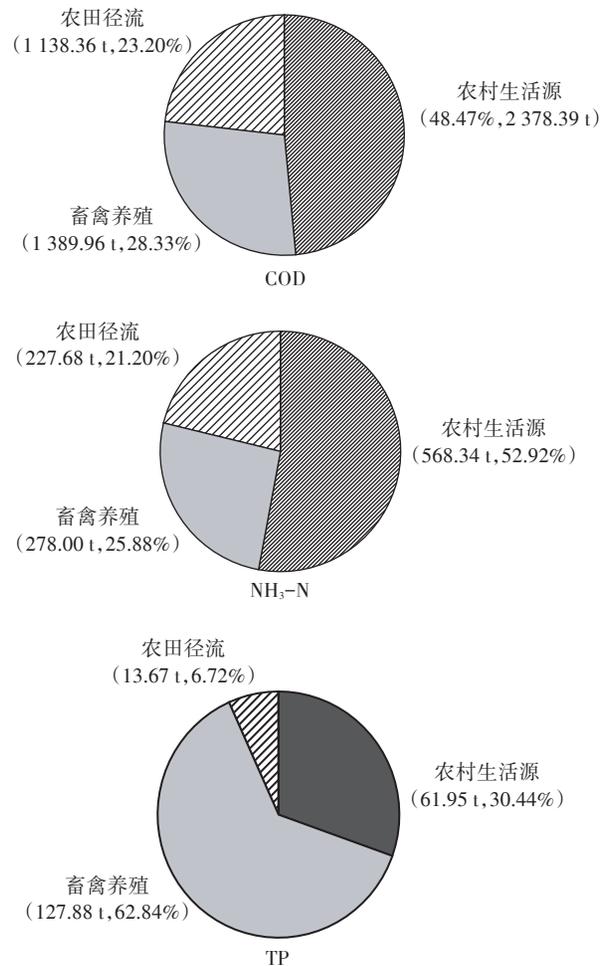


图2 2015年凯江流域农村非点源COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP入河量及贡献比例

Figure 2 The amount of COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ and TP into the river and their contribution to the rural non-point source pollution in Kaijiang River Basin in 2015

农村生活源是流域COD和NH₃-N的主要污染源,COD入河量达到2 378.39 t,占COD总入河量的48.47%,NH₃-N入河量达到568.34 t,占NH₃-N总入河量的52.92%。畜禽养殖源是流域TP的主要污染源,TP入河量达到127.88 t,占TP总入河量的62.84%。

由图2及表2可知,凯江流域农村生活源对COD的入河贡献率最大,其次是畜禽养殖源和农田径流源。农村生活源COD入河量以中江县为最高,达到了987.01 t,三台县、安州区和罗江县次之,入河量分别为654.51、393.46 t和304.99 t。畜禽养殖源COD入河量以罗江县为最高,达到538.05 t,中江县和三台县次之,入河量分别为404.34 t和375.83 t。农田径流源COD入河量以中江县为最高,达到408.73 t,三台县、安州区和罗江县次之,入河量分别为288.55、220.49 t和184.75 t。

农村生活源对NH₃-N的入河贡献率最大,其次是畜禽养殖源和农田径流源。农村生活源NH₃-N入河量以中江县为最高,达到235.86 t,三台县次之,入河量为156.4 t,安州区和罗江县也有一定的贡献,分别为94.02 t和72.88 t。畜禽养殖源NH₃-N入河量以罗江县为最高,达到了107.61 t,中江县和三台县次之,分别为80.87 t和75.17 t,安州区和旌阳区也有一定的贡献,但相差不大。农田径流源NH₃-N入河量

以中江县为最高,达到了81.75 t,其余乡镇除旌阳区贡献最少外,入河量相差不大。

畜禽养殖源对TP的入河贡献率最大,其次为农村生活源。畜禽养殖源TP入河量以罗江县为最高,达到了49.50 t,中江县和三台县次之,入河量分别为37.20 t和34.58 t。农村生活源TP以中江县为最高,入河量为25.71 t。

2.2 农村非点源污染空间分布特征

如表3所示,农村非点源污染的贡献源区主要分布在中江县、三台县和罗江县,其中中江县对COD、NH₃-N、TP入河量最大,3项指标分别占流域入河总量的36.69%、37.10%和33.33%;其次为三台县,3项指标分别占流域入河总量的26.88%、26.93%和27.07%;罗江县的3项污染指标分别占流域入河总量的20.95%、20.25%和29.32%。以上3县COD、NH₃-N和TP入河量之和分别占到凯江流域该类污染物入河总量的84.52%、84.28%和89.72%。因此,对于凯江流域污染物入河总量控制及水质改善来说,中江县、三台县和罗江县3县为重点控制源区。

由图3可以直观地看出,凯江流域各区县农村非点源污染入河总量在空间上具有较强的区域分布特点,总体来看,凯江流域上游西北部属于丘陵低山地区,该地区污染物入河量较低,处于较低的污染等级,

表2 2015年凯江流域农村非点源污染入河清单(t)

Table 2 List of rural non-point source pollution into the river in Kaijiang River Basin in 2015(t)

区(县)	农村生活源			畜禽养殖			农田径流		
	COD	NH ₃ -N	TP	COD	NH ₃ -N	TP	COD	NH ₃ -N	TP
安州区	393.46	94.02	10.24	34.38	6.88	3.16	220.49	44.10	2.65
罗江县	304.99	72.88	7.94	538.05	107.61	49.50	184.75	36.95	2.22
旌阳区	38.42	9.18	1.01	37.36	7.47	3.44	35.84	7.17	0.43
中江县	987.01	235.86	25.71	404.34	80.87	37.20	408.73	81.75	4.91
三台县	654.51	156.40	17.05	375.83	75.17	34.58	288.55	57.71	3.46
合计	2 378.39	568.34	61.95	1 389.96	278.00	127.88	1 138.36	227.68	13.67

表3 凯江流域各区县农村非点源污染入河总量分布

Table 3 Distribution of rural non-point source pollution into the river in Kaijiang River Basin

区(县)	COD		NH ₃ -N		TP	
	负荷量/t·a ⁻¹	占比/%	负荷量/t·a ⁻¹	占比/%	负荷量/t·a ⁻¹	占比/%
安州区	648.33	13.21	145.00	13.50	16.05	7.89
罗江县	1 027.79	20.95	217.44	20.25	59.66	29.32
旌阳区	111.62	2.27	23.82	2.22	4.88	2.40
中江县	1 800.08	36.69	398.48	37.10	67.82	33.32
三台县	1 318.89	26.88	289.28	26.93	55.09	27.07
合计	4 906.71	100.00	1 074.02	100.00	203.50	100.00

而中下游地区属于丘陵平坝区,污染物入河量较大,处于较高的污染等级,其中中江县的污染等级最高。

凯江流域在中江县沿北部进入,过中江县城后自西向东贯穿而过,经过中江县大部分乡镇。从人口密度来看,中江县的人口密度最大,为 $644.5 \text{ 人}\cdot\text{km}^{-2}$,罗江县和三台县人口密度分别为 $558.2 \text{ 人}\cdot\text{km}^{-2}$ 和 $545.9 \text{ 人}\cdot\text{km}^{-2}$,安州区和旌阳区的人口密度分别为 $377.6 \text{ 人}\cdot\text{km}^{-2}$ 和 $332.6 \text{ 人}\cdot\text{km}^{-2}$,同时中江县的农村人口达到53.07万,占凯江流域农村人口的41.5%;从畜禽养殖量来看,三台县和中江县的畜禽养殖量较多,分别为202.52万头(标准猪)和195.25万头(标准猪);从农田

面积来看,中江县的农田耕地面积最大,达到3.15万 hm^2 。由此可见,中江县污染等级最高与其人口密度、种养业发展情况密不可分,同时可以推断农村人口越多且人口密度越大,其生活和生产对环境造成的污染越重^[5]。

凯江流域各区县农村非点源污染贡献率不同,如图4所示。安州区农村生活源是COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP的主要污染源,入河贡献率分别为60.36%、64.84%和63.80%。罗江县畜禽养殖源是COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP的主要污染源,入河贡献率分别达到52.35%、49.49%和82.97%。旌阳区凯江流域范围只涉及双东镇,污染物入河总量远远少于其他区县,COD和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 入河

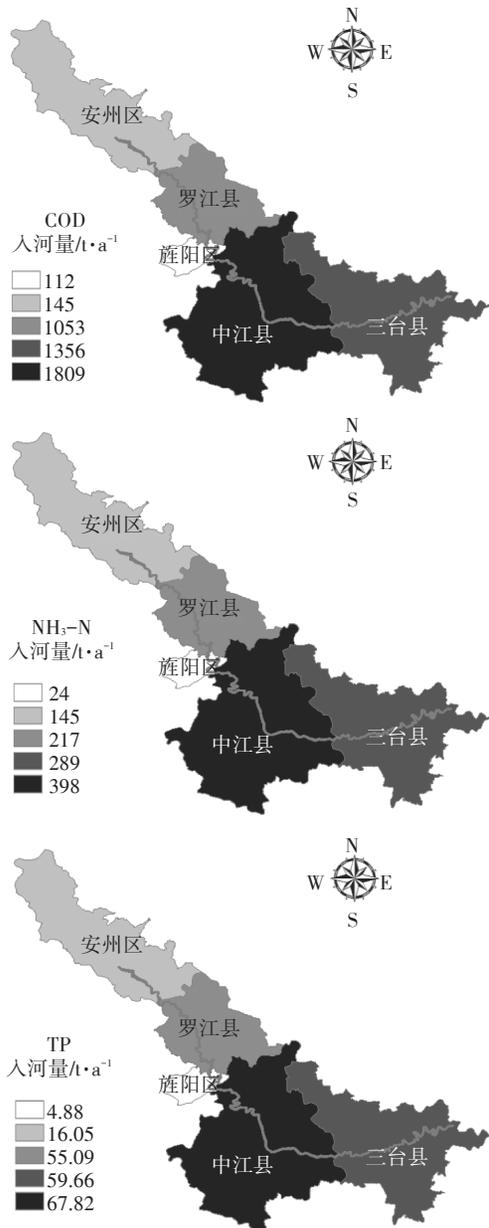


图3 凯江流域农村非点源污染入河量空间分布

Figure 3 Spatial distribution of rural non-point source pollution into the river in Kaijiang River Basin

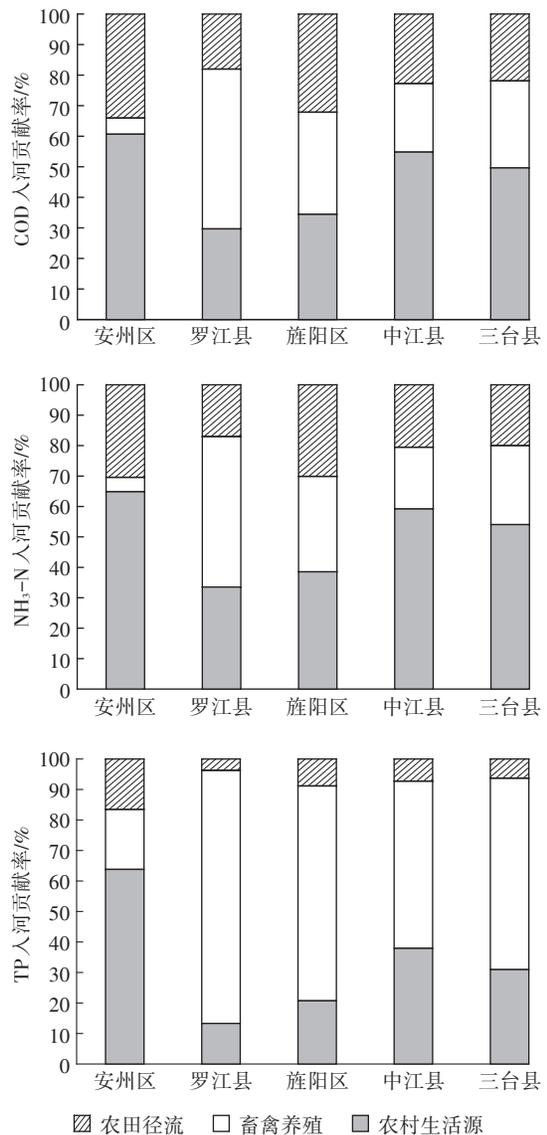


图4 凯江流域各区县污染负荷入河贡献率

Figure 4 Contribution rate of pollution load into river in Kaijiang River Basin

贡献率分布较均匀,TP入河贡献率以畜禽养殖源为主。中江县农村生活源是COD和NH₃-N的主要污染源,入河贡献率分别为54.83%和59.19%,畜禽养殖源是TP的主要污染源,入河贡献率为54.85%。三台县农村生活源是COD和NH₃-N的主要污染源,入河贡献率分别为49.63%和54.07%,畜禽养殖源是TP的主要污染源,入河贡献率为62.77%。

3 讨论

3.1 农村生活源污染问题分析

凯江流域范围内农村生活源入河负荷量较大,COD、NH₃-N和TP的贡献率分别为48.47%、52.92%和30.44%,是凯江流域农村非点源污染最主要的来源和控制对象。凯江流域地处四川盆地农林区,农村面积广大,涉及人口众多,人口密度大,产生的生活污水较多,同时农村居民分布较为分散,几乎无收集管网和污水处理设施,虽有部分居民建立了简易化粪池对污水进行简单处理,但处理水平与处理量还远远不够,生活污水不经过管道直接任意排放。凯江流域农村缺乏完善的垃圾处理无害化设施,虽有“村收集,镇转运,县处理”的方式,但据现场调研情况来看,凯江流域及其支流河道两岸仍存在生活垃圾无组织堆放的现象。这些因素是造成农村生活源入河污染物总量较大的原因,对流域水质造成了较大的影响。同时,随着流域内经济水平的增长,农村生活水平的提高,居民生活源排放污染物量将呈现增长趋势^[19],若不从源头进行控制,则会加剧农村生活源对流域水质的影响。

3.2 畜禽养殖源污染问题分析

畜禽养殖产生的COD、NH₃-N和TP对流域的贡献率分别为28.33%、25.88%和62.84%,是影响流域水环境质量的重要因素。凯江流域养殖业较为发达,尤其在罗江县和中江县存在大量的规模化畜禽养殖场或分散式畜禽养殖户,流域内部分养殖场(尤其是养猪场)的污染治理水平落后,大部分畜禽废物采用直接还田利用及散排处理,未充分利用而产生较大污染。

3.3 农田径流源污染问题分析

农田径流产生的COD、NH₃-N和TP对流域的贡献率分别为23.2%、21.2%和6.7%,这是因为凯江流域范围内耕地面积较广,约占总面积的79%,农田单位面积化肥施用量较高,凯江流域各区(县)农业局统计数据表明,2015年凯江流域施肥强度平均高

达814.85 kg·hm⁻²,远超国际上设置的225 kg·hm⁻²的化肥施用警戒线^[20],农田基本沿河分布,在雨季传统农业种植施用的大量农药、化肥会通过地表径流和水土流失造成较为严重的非点源污染。

4 结论

(1) 2015年四川省凯江流域农村非点源污染COD、NH₃-N和TP入河总量分别为4 906.71、1 074.02 t和203.50 t,其中农村生活源是COD和NH₃-N的主要污染源,分别占入河总量的48.47%和52.92%,畜禽养殖源是TP的主要污染源,占TP总入河量的62.84%。

(2) 凯江流域农村非点源污染的贡献源区空间分布特征较为明显,入河污染物主要分布在中江县、三台县和罗江县,其中中江县的污染负荷入河量最大,3县的COD、NH₃-N和TP入河量之和分别占该类污染物入河总量的84.52%、84.28%和89.72%,这表明以上3县是凯江流域农村非点源污染产生的关键区域,需重点关注。

参考文献:

- [1] Corwin D L, Vaughan P J, Keith L. Modeling nonpoint source pollutants in the vadose zone with GIS[J]. *Environment Science & Technology*, 1997, 31(8):2157-2175.
- [2] 吴一鸣,李伟,余昱葳,等.浙江省安吉县西苕溪流域非点源污染负荷研究[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(10):1976-1985.
WU Yi-ming, LI Wei, YU Yu-wei, et al. Non-point source pollution loading in Xitiaoqi Watershed of Anji County[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(10):1976-1985.
- [3] 黄生斌,叶芝茜,刘宝元.密云水库流域非点源污染研究概述[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(5):1311-1316.
HUANG Sheng-bin, YE Zhi-han, LIU Bao-yuan. Review on non-point source pollution in Miyun Reservoir[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(5):1311-1316.
- [4] Boers P C M. Nutrient emissions from agriculture in the Netherlands, causes and remedies[J]. *Water Science Technology*, 1996, 33(4/5):183-189.
- [5] 程艳,黎小东,敖天其.古蔺河流域农村非点源污染综合评估[J]. *环境工程*, 2016, 34(S1):114-118.
CHENG Yan, LI Xiao-dong, AO Tian-qi. Comprehensive evaluation on the agricultural non-point source pollution in Gulin Basin[J]. *Environmental Engineering*, 2016, 34(S1):114-118.
- [6] 王晓燕.非点源污染及其管理[M].北京:海洋出版社,2003.
WANG Xiao-yan. Non-point source pollution and its management[M]. Beijing:Ocean Press, 2003.
- [7] Rarry R. Agricultural phosphorus and water quality: A US environmental protection agency perspective[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1998, 27:258-261.

- [8] 李慧菁, 牧振伟. 流域水环境污染成因及控制措施[J]. 环境污染与防治, 2012, 34(3):110-112.
LI Hui-jing, MU Zhen-wei. Causes and control measures of water environment pollution in river basin[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2012, 34(3):110-112.
- [9] 赖斯芸, 杜鹏飞, 陈吉宁. 基于单元分析的非点源污染调查评估方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004, 44(9):1184-1187.
LAI Si-yun, DU Peng-fei, CHEN Ji-ning. Evaluation of non-point source pollution based on unit analysis[J]. *Journal of Tsinghua University(Science and Technology)*, 2004, 44(9):1184-1187.
- [10] 李自林. 我国农业面源污染源现状及其对策研究[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(5):207-212.
LI Zi-lin. Review of the current situation and control countermeasures in agricultural non-point source pollution control in China[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2013, 31(5):207-212.
- [11] 丁晓雯, 沈珍瑶. 涪江流域农业非点源污染空间分布及污染源识别[J]. 环境科学, 2012, 33(11):4025-4032.
DING Xiao-wen, SHEN Zhen-yao. Spatial distribution and pollution source identification of agricultural non-point source pollution in Fujiang Watershed[J]. *Environmental Science*, 2012, 33(11):4025-4032.
- [12] 刘瑞民, 杨志峰, 沈珍瑶. 土地利用/覆盖变化对长江流域非点源污染的影响及其信息系统建设[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(3):372-377.
LIU Rui-min, YANG Zhi-feng, SHEN Zhen-yao. Relationship and simulation information system of land use/cover change and non-point source pollution in Yangtze River Basin[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2006, 15(3):372-377.
- [13] 王渺林, 夏军, 朱辉. 涪江流域分布式日径流模型研究[J]. 水资源研究, 2007, 28(2):1-3.
WANG Miao-lin, XIA Jun, ZHU Hui. Distributed time variant gain model in Fujiang Watershed[J]. *Journal of Water Resources Research*, 2007, 28(2):1-3.
- [14] 纪丁愈, 王庆安, 余红英, 等. 川中丘陵地区小流域农业面源污染特征及水环境容量研究——以黄腊溪小流域为例[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(4):81-84.
JI Ding-yu, WANG Qing-an, SHE Hong-ying, et al. Research on the agricultural non-point pollution characteristic and water environment capacity in hilly area of central Sichuan Basin: A case study of Huang Laxi small watershed[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2011, 22(4):81-84.
- [15] 桂平婧, 王丰, 李善朴, 等. 四川省农村生活非点源污染负荷估算及评价研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(18):152-162.
GUI Ping-jing, WANG Feng, LI Shan-pu, et al. Estimation and evaluation of non-point source pollution load in rural living of Sichuan Province[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(18):152-162.
- [16] 周亮, 徐建刚, 孙东琪, 等. 淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制[J]. 环境科学, 2013, 34(2):547-554.
ZHOU Liang, XU Jian-gang, SUN Dong-qi, et al. Spatial heterogeneity and classified control of agricultural non-point source pollution in Huaihe River Basin[J]. *Environmental Science*, 2013, 34(2):547-554.
- [17] 申萌萌, 苏保林, 李卉, 等. 太浦河流域平原河网地区非点源污染负荷时空分布规律研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2012, 48(5):463-470.
SHEN Meng-meng, SU Bao-lin, LI Hui, et al. Spatiotemporal distribution of non-point source pollution in the plain river network area of the Taiga Canal Watershed[J]. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2012, 48(5):463-470.
- [18] 陈群英, 洗萍, 蓝文陆. 茅岭江流域入河污染源问题诊断及防治对策研究[J]. 环境科学与管理, 2016, 41(4):37-42.
CHEN Qun-ying, XIAN Ping, LAN Wen-lu. River pollution problem diagnosis and environmental protection countermeasures of Maolingjiang River Basin[J]. *Environmental Science and Management*, 2016, 41(4):37-42.
- [19] 邱斌, 李萍萍, 钟晨宇, 等. 海河流域农村非点源污染现状及空间特征分析[J]. 中国环境科学, 2012, 32(3):564-570.
QIU Bin, LI Ping-ping, ZHONG Chen-yu, et al. Characteristics and spatial distribution of the rural non-point source pollution in Haihe River Basin[J]. *China Environmental Science*, 2012, 32(3):564-570.
- [20] Jiang D M, Zhou Y F, Lu G. The roles of country women in controlling non-point source pollution[J]. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 2006, 4(2):28-32.