

清江流域畜禽粪便产生量估算及环境效应分析

陈绍华 杜冬云

(中南民族大学 资源与环境学院 湖北省重金属废水处理与回用工程技术研究中心, 武汉 430074)

摘要 依据 2008~2013 年清江流域畜禽养殖数据,采用排泄系数法估算了畜禽粪便量,并对各地区畜禽粪便对耕地和水环境的污染现状进行了评价。结果表明:2008~2013 年畜禽粪便耕地负荷平均为 20.30 t/hm²,对环境已呈现一定的影响,按照目前增长趋势,到 2016 年底清江流域畜禽粪便负荷将接近限值 30 t/hm²,此时畜禽养殖对当地的环境将呈现较严重的影响。各种污染物中年均产生量最大的是 COD 223057.59 t,占污染物产生总量的 39.72%,最小的是 NH₃-N 18433.59 t,仅占污染物产生总量的 3.48%。各种污染物因子中对水体影响最大的是 TN、TP,等标排放率分别为 40.43% 和 34.58%。畜禽养殖业中生猪、羊、牛和家禽养殖对水体污染的贡献率分别为 55.83%、26.41%、14.06% 和 3.68%。在清江流域 10 个县市中,对水体污染的贡献最大的是宜都县,贡献为 16.33%,其余依次为长阳县、恩施市、利川市、巴东县、建始县、宣恩县、咸丰县、五峰县和鹤峰县,其对水体污染的贡献分别为 14.68%、13.24%、11.69%、10.72%、9.90%、6.78%、6.66%、5.20% 和 4.80%。

关键词 清江流域; 畜禽养殖; 环境效应; 耕地负荷

中图分类号 X713 文献标识码 A 文章编号 1672-4321(2017)02-0015-06

Estimation of Production Amount and Environmental Effect of Livestock Manure in Qingjiang Basin

Chen Shaohua, Du Dongyun

(Research Center for Heavy Metal Wastewater Treatment and Reuse Engineering & Technology of Hubei Province, College of Resources and Environmental Science, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China)

Abstract Based on the livestock data in Qingjiang basin from 2008 to 2013, the amount of livestock manure were calculated by using the excretion coefficient method, and their environmental effect on farmland and water was evaluated. The results indicated that the average farmland pollution loading was 20.30 t/hm² during 2008 to 2013, already showing some environmental effect. According to the present trend, the loading would reach 30 t/hm² in 2016, which might affect environment seriously. Among all the pollutants, the amount of COD (223057.59 t) was the most, accounting for 39.72% of the total. The amount of ammonia nitrogen (18433.59 t) was least, accounting for 3.48% of the total. Among the various pollutants, TN and TP had most significant influence on water environment, with equal-standard discharge rate of 40.43% and 34.58%, respectively. The contribution of pig, sheep, cow and poultry to water pollution was 55.83%, 26.41%, 14.06% and 3.68%, respectively. Among the ten counties and cities in Qingjiang basin, Yidu City contributed most to water pollution, with a rate of 16.33%, followed by Changyang Country, Enshi City, Lichuan City, Badong Country, Jianshi Country, Xuan'en Country, Xianfeng, Wufeng and Hefeng Country, with the corresponding contribution being 14.68%, 13.24%, 11.69%, 10.72%, 9.90%, 6.78%, 6.66%, 5.20% and 4.80%, respectively.

Keywords Qingjiang basin; livestock and poultry breeding; environmental effect; farmland load

中国是世界上最大的畜禽养殖国,每年产生大量的畜禽粪便。目前,我国畜禽粪便年排放量超过 40 亿 t,是工业有机污染物的 4.1 倍^[1],而其中绝大部分未

经处理直接排放,对农业环境带来极大威胁。特别是猪粪水的排放已经是一个重要的环境问题^[2]。畜禽粪便最有效最主要的处理方式是作为有机肥还田,但是

收稿日期 2016-03-18

作者简介 陈绍华(1982-)男,讲师,博士,研究方向:水处理与矿山环境, E-mail: csh0743@163.com

基金项目 湖北省自然科学基金资助项目(2015CFC888);中央高校基本科研业务专项(CZW15075, CZW15037)

当局部区域施用的畜禽粪便量超出农田消纳容量,会造成水体和土壤的污染,引发严重的环境问题^[3]. 畜禽粪便污染作为农业面源污染的主要组成部分,是造成地下水和地表水污染的最主要原因. 畜禽养殖所形成的环境污染问题已成为世界研究者普遍关注并须认真研究解决的一个重大课题.

关于区域畜禽粪便产生量及对环境的影响已有相关报道. 张绪美等^[4]从畜禽养殖结构出发,研究了我国不同省份畜禽养殖结构及其畜禽粪便污染负荷的时空分布特征. 冯倩^[5]对江西省畜禽粪便耕地负荷进行评价. 冯爱萍等^[6]研究了东北三省畜禽养殖环境风险时空特征. 杨飞等^[7]分析了中国各地区近30年来畜禽养殖的时空变化规律,并对中国耕地的畜禽养殖氮污染负荷进行了评估. 目前,国内外还没有关于畜禽养殖业对清江流域环境风险评价的系统研究. 因此,本研究对2008~2013年间清江流域畜禽粪便产生量进行了估算,分析了耕地、水环境的污染现状,以期对清江流域畜禽养殖的可持续发展和环境保护提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

本文选择清江流域为研究区域. 清江发源于湖北省恩施州利川市的齐岳山,是长江一级支流,在湖北省境内为仅次于汉江的第二大支流,也是长江水系航道网重要组成部分. 清江流域地跨恩施州的利川、咸丰、恩施、宣恩、建始、巴东、鹤峰及宜昌市境内的五峰、长阳、宜都等10个县(市). 清江流域是经济欠发达地区,其中有82%的居民主要从事农业生产,是一个典型畜禽养殖业大区. 2012年畜禽养殖业总产值占农业总产值的37.92%,在全省市州中排名第二. 近年来,清江流域各县市积极推进标准化适度规模养殖,2012年全州家庭农(牧)场达20000个,有部、省、州、县标准化规模养殖示范场近5000个,其中恩施、利川、建始、巴东、咸丰、长阳和宜都已成为国家生猪调出大县. 但这些养殖场或示范基产生的粪尿等主要还是直接还田利用,给清江流域的土壤和水体环境造成了严重的破坏. 畜禽养殖污染问题已成为流域内最为突出的环境问题.

1.2 基础数据

畜禽养殖数据来源于2008~2013年《湖北统计年鉴》公布的统计资料. 清江流域范围内畜禽养殖主要以猪、牛、羊和家禽为主. 本文主要研究这4种畜禽

养殖粪尿对环境的影响.

1.3 畜禽粪便排放量的计算

1.3.1 畜禽饲养期

根据国家环保总局^[8]公布的畜禽饲养周期数据以及相关文献^[9,10],结合在清江流域大量的实地调研,确定各种畜禽养殖的周期. 生猪:饲养周期为199d;牛和羊饲养周期比较长,一般饲养周期按全年365d计;家禽:蛋禽与肉禽在生长周期上均有较大差异,因此,二者需要分开计算,一般肉禽占2/3,饲养周期一般为55d,蛋禽占1/3,饲养周期一般为365d.

1.3.2 畜禽粪便产生量

本研究主要通过清江流域内各类养殖场的实地调查以及根据易发钊^[10]和刘培芳^[11]研究得出的结果,确定畜禽粪便排泄系数如表1所示. 再按照畜(禽)年粪便量(kg) = 年出栏量 × 日排泄系数(kg/d) × 饲养周期(d),计算畜禽粪便产生量.

表1 各类畜禽粪便排泄系数
Tab.1 Discharge rate of different domestic animals

排泄物	各类畜禽粪便排泄系数 / (kg · d ⁻¹)			
	猪	牛	羊	家禽
粪	2.2	30	2.6	0.15
尿	3.2	18	1.3	0

1.3.3 畜禽粪便耕地负荷量的计算

目前,清江流域畜禽粪便主要由农田消纳进行处理. 农田消纳畜禽粪便的能力,受土壤的质地、肥力和作物收获时籽粒和秸秆吸收量等多方面影响. 因此采用畜禽粪便耕地负荷量这一指标可以直接反映该地区耕地消纳畜禽粪便的能力. 而单位面积耕地土壤的氮养分负荷反映了畜禽粪便对于耕地土壤的污染风险^[12]. 不同类型粪便,其肥效养分差异较大. 根据各类畜禽粪便的含氮量,将各种畜禽粪便统一换算成猪粪当量^[2]. 畜禽粪便耕地负荷量计算公式为:

$$q = \frac{Q}{S} = \sum \frac{XT}{S}, \quad (1)$$

式中 q 为畜禽粪便以猪粪当量计算的负荷量 (t/hm^2), Q 为各类畜禽粪相当猪粪当量总量 (t), S 为有效耕地面积 (hm^2), X 为各类畜禽粪便量 (t), T 为换算系数.

从环境风险的角度出发,每公顷耕地能承受畜禽粪便的最大量约为 $30 t^{[13]}$. 若高出这一水平,会带来土壤的富营养化,对环境产生影响. 预警值 R 的计算公式为:

$$R = \frac{q}{P}, \quad (2)$$

式中 R 为预警值, q 为猪粪当量耕地负荷值

(t/hm²) P 为最大理论适用量为 30 t/hm²。

按照耕地对畜禽粪尿承受程度, 可以把预警值 R 分为 6 级: $R < 0.4$, 为 I 级 无污染; $0.4 \leq R < 0.7$, 为 II 级 稍有污染; $0.7 \leq R < 1.0$, 为 III 级 有污染; $1.0 \leq R < 1.5$, 为 IV 级 较严重污染; $1.5 \leq R < 2.5$, 为 V 级 严重污染; $R \geq 2.5$, 为 VI 级 很严重污染。 R 值越大, 说明环境对畜禽粪便负荷量承受能力越低, 畜禽粪便对环境造成的污染威胁性越大。

1.3.4 污染物排放量

粪便中污染物的排放量 (t/a) = 粪便产生量 (t/a) × 粪便中污染物的平均含量 (kg/t 鲜粪尿) × 10⁻³。 (3)

1.3.5 污染物对水体污染的评价

等标排放量法是污染评价中常用的评价方法, 主要反映污染源本身潜在的污染水平, 采用等标排放量法对污染物进行评价, 用污染物的排放量除以环境中污染物的限量标准, 把污染物的排放量转化为“把污染物全部稀释到评价标准所需的介质量”, 结果能反映污染物在量上和质上对环境的影响。经过转化, 使同一污染源所排放污染物之间对环境的潜在影响上

进行比较成为可能。等标排放量计算公式如下^[2]:

$$P_i = \frac{C_i}{C_0} \times 10^{-6}, \quad (4)$$

式中 P_i 为等标污染排放量, C_i 为污染物流失量 t/a; C_0 为污染物按流域环境质量标准标准系列的阈浓度, 按 GB 3838-2002 II 类标准的阈浓度计算, 取 ρ (BOD₅) = 3 mg/L, ρ (COD) = 15 mg/L, ρ (NH₃-N) = 0.5 mg/L, ρ (TP) = 0.1 mg/L, ρ (TN) = 0.5 mg/L。

2 结果与分析

2.1 清江流域畜禽粪便产生量

2008 ~ 2013 年畜禽粪尿产生量如表 2 所示。由表 2 可知: 从 2008 ~ 2013 年间, 清江流域猪、牛、羊、家禽的粪尿产生总量持续增长, 年均增长率为 8.68%。在整个清江流域各类畜禽中粪尿产生量最大的是猪, 其粪尿产生量占全部畜禽粪尿总量的 61.63%, 其次是羊和牛, 分别占 19.24% 和 15.91%。产生量最小的是家禽, 仅占清江流域粪尿产生总量的 3.22%。

表 2 2008 ~ 2013 年清江流域畜禽粪尿产生量

Tab. 2 Amount of livestock manure in Qingjiang basin during 2008 to 2013

年份	畜禽粪尿产生量 m/kt							
	猪粪	猪尿	牛粪	牛尿	羊粪	羊尿	家禽粪	总量
2008	2016.6	2933.3	798.8	479.3	999.1	499.6	244.1	7970.7
2009	2261.1	3288.9	868.7	521.2	1083.7	541.8	277.8	8843.2
2010	2430.6	3535.4	969.3	581.6	1215.1	607.5	314.4	9653.8
2011	2623.5	3816.0	1039.3	623.6	1405.8	702.9	341.8	10552.8
2012	2816.6	4096.9	1128.3	677.0	1464.2	732.1	370.1	11285.2
2013	3024.5	4399.2	1203.6	722.2	1583.0	791.5	399.8	12123.8
平均值	2528.8	3678.3	1001.3	600.8	1291.8	645.9	324.7	10071.6
比例/%	61.63		15.91		19.24		3.22	

2.2 清江流域耕地畜禽粪尿负荷量

为便于对畜禽粪便耕地污染的控制, 国家环保部生态司建议, 由于农户对猪粪的农田施用量较容易掌握, 宜将畜禽粪便换算成猪粪当量, 计算其耕地负荷^[9]。换算系数如表 3 所示^[10]。

表 3 各类畜禽粪便和猪粪当量换算系数

Tab. 3 Livestock manure and pig dung equivalent conversion coefficient

畜禽种类	含氮量/%	折算系数
猪粪	0.59	1
猪尿	0.33	0.56
牛粪	0.44	0.75
牛尿	0.80	1.36
羊粪	0.75	1.27
羊尿	1.40	2.37
禽粪	1.24	2.10

2008 ~ 2013 年清江流域畜禽粪便农田负荷预警值结果见表 4。由表 4 可知: 清江流域这 6 年间畜禽粪

便负荷平均为 20.30 t/hm², 预警值为 0.68, 说明清江流域畜禽养殖对整个流域的耕地环境已呈现有一定的影响。2008 年负荷量为 16.71 t/hm², 但 2013 年负荷量已达到 24.05 t/hm², 已经接近每公顷耕地能承受的限额, 说明畜禽养殖对环境的影响在不断加剧。就环境影响而言, 2008 ~ 2010 年畜禽粪便对环境的影响为 II 级, 呈现“稍有影响”的状态, 而 2011 ~ 2013 年畜禽粪便对环境的影响为 III 级, 呈现“有影响”的状态。根据 2008 ~ 2013 年耕地负荷年均增长率 7.32% 进行预测, 预计到 2016 年底清江流域畜粪便负荷将接近限值 30 t/hm², 畜禽养殖对当地的环境将呈现“较严重”的影响, 此时整个清江流域的耕地均面临畜禽粪尿的污染。

表4 2008~2013年清江流域畜禽粪便农田负荷预警值

Tab.4 Environmental risk value of livestock manure farmland load in Qingjiang basin during 2008 to 2013

年份	猪粪当量 m/kt	耕地面积 S/km^2	q 值/ $(t \cdot hm^{-2})$	预警值 R	污染分级	对环境的影响
2008	7875.7	471.2	16.71	0.56	II	稍有
2009	8707.0	484.2	17.98	0.60	II	稍有
2010	9571.6	489.6	19.55	0.65	II	稍有
2011	10557.1	499.0	21.16	0.71	III	有
2012	11249.6	503.2	22.36	0.75	III	有
2013	12098.8	503.0	24.05	0.80	III	有

清江流域各县市6年畜禽粪便农田负荷预警平均值见表5。由表5可知:在2008~2013年间,清江流域的10个县市中,畜禽养殖对当地环境影响顺序是:宜都县>长阳县>巴东县>五峰县>建始县>鹤峰县>恩施市>宣恩县>咸丰县>利川市。其中宜都县对环境的影响最严重, R 高达3.69,对当地环境污染为VI级,呈现“很严重”的状态,必须引起足够的重视,因为宜都县的耕地面积很小,需要对畜禽养殖进行合理规划,并对畜禽粪尿进行综合处置和资源化利用,防止环境进一步恶化。长阳县($R=0.97$)和巴东

县($R=0.93$)畜禽养殖对环境污染已经接近IV级,呈现“较严重影响”的状态,也应该重视今后的环境控制。五峰、建始、鹤峰三个县市畜禽养殖对当地环境污染为III级,呈现“有影响”的状态。恩施市、宣恩县、咸丰县三个县市畜禽养殖对当地环境的影响为II级,呈现“稍有影响”的状态。10个县市中仅有利川市对当地环境“无影响”,但预警值 $R=0.36$,已接近“有影响”的状态,但由于粪尿产生的绝对数量很大,对环境的影响需引起重视。

表5 清江流域各县市畜禽粪便农田负荷预警值

Tab.5 Environmental risk value of livestock manure farmland load in Qingjiang basin

地区	猪粪当量 m/kt	耕地面积 S/km^2	q 值/ $(t \cdot hm^{-2})$	预警值 R	污染分级	对环境的影响
恩施市	1273.5	73.5	17.33	0.58	II	稍有
建始县	978.9	37.5	26.10	0.87	III	有
巴东县	999.3	36.0	27.76	0.93	III	有
利川市	1141.4	105.5	10.82	0.36	I	无
宣恩县	676.7	42.0	16.11	0.54	II	稍有
咸丰县	646.0	44.0	14.68	0.49	II	稍有
鹤峰县	470.9	20.1	23.42	0.78	III	有
五峰县	509.6	19.2	26.54	0.88	III	有
长阳县	1563.4	53.8	29.06	0.97	III	有
宜都县	1750.3	15.8	110.78	3.69	VI	很严重

按照目前耕地负荷年均7.5%增长率计算,各县市畜禽粪便耕地负荷达到限值所需要的时间如图1所示。图1中宜都县的耕地畜禽粪便负荷目前已经远远超过限值,是限值的3.69倍,长阳县已经接近限值。而巴东县、五峰县、建始县、鹤峰县、恩施市、宣恩县、咸丰县、利川市的畜禽粪便耕地负荷达到限值需要的时间分别为1.07,1.68,1.92,3.15,7.59,8.60,9.88,14.10年,即到2027年清江流域10个县市的畜禽粪便耕地负荷基本都将达到限值,此时畜禽养殖对当地的环境将呈现“较严重”的影响。

2.3 畜禽粪尿对水体的污染

根据相关研究^[14]确定畜禽粪尿产生量和禽粪便中污染物平均含量及流失率^[13],可得出2008~2013年清江流域各种污染物的产生量(见表6)。由表6可知:2008~2013年间,清江流域由于畜禽养殖产生的 BOD_5 、 COD 、 NH_3-N 、 TP 和 TN 逐年增加,年均增长

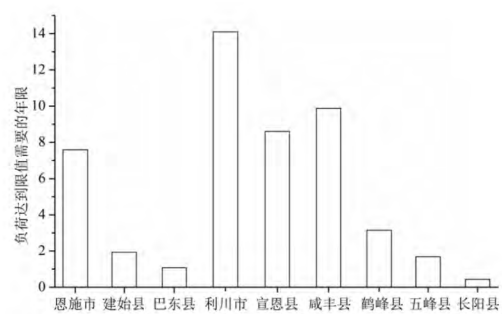


图1 各县市耕地负荷达到限值所需要的时间

Fig.1 Time required to reach the limit farmland load in different counties

率分别为8.53%、8.55%、8.47%、8.91%、8.94%。年均产生量最大的是 COD 223057.59 t,占污染物产生总量的39.72%,产生量最小的是 NH_3-N 18433.59 t,仅占污染物产生总量的3.48%。

表 6 2008 ~ 2013 年清江流域各污染物产生量
Tab. 6 Amount of various pollutants in Qingjiang basin during 2008 to 2013

年份	各污染物产生量 m / t					
	BOD ₅	COD	NH ₃ -N	TP	TN	总量
2008	166826.02	176996.16	14662.04	14528.89	46376.28	419389.39
2009	186259.82	197455.39	16294.14	16144.85	51272.48	467426.68
2010	202096.35	214549.92	17711.83	17676.38	56363.66	508398.14
2011	218627.89	232109.32	19204.92	19421.33	62171.38	551534.84
2012	234904.40	249459.16	20612.22	20725.94	66248.57	591950.29
2013	252182.72	267775.59	22116.41	22296.30	71250.02	635621.04
平均值	210149.53	223057.59	18433.59	18465.62	58947.07	529053.40

畜禽粪尿会随地表径流而流失,由 2008 ~ 2013 年清江流域各污染物产生量和各污染物的流失率,可得出各污染物进入水体的流失量(见表 7)。由表 7 可知,清江流域 2008 ~ 2013 年间,年均进入水体量最多

的是 COD(30703.11 t),其次依次为 BOD₅(22983.72 t)、TN(14890.74 t)、NH₃-N(4249.43 t)、TP(2567.13 t)。巨大的污染物流失量势必对清江流域水源造成严重威胁。

表 7 2008 ~ 2013 年畜禽粪尿污染物进入水体的流失量
Tab. 7 Losed pollutant amount of livestock manure into water during 2008 to 2013

年份	畜禽粪尿污染物进入水体的流失量 m / t					
	BOD ₅	COD	NH ₃ -N	TP	TN	总量
2008	18249.83	24383.52	3381.73	2020.42	11738.83	59774.33
2009	20361.08	27204.12	3754.18	2239.34	12952.53	66511.25
2010	22078.83	29507.32	4085.56	2453.07	14229.37	72354.15
2011	23943.75	31966.60	4424.37	2707.11	15710.41	78752.24
2012	25686.11	34314.97	4753.02	2881.86	16727.70	84363.66
2013	27582.72	36842.15	5097.74	3100.99	17985.57	90609.17
平均值	22983.72	30703.11	4249.43	2567.13	14890.74	75394.13

为比较畜禽粪尿排放的污染物对水环境影响的大小,采用等标排放量评价方法,分析 2008 ~ 2013 年各类污染物的等标污染物排放量(见表 8)以及等标排放率。由表 8 可知,从 2008 年到 2013 年污染物的等标排放量不断增加,上述 5 种污染因子中对水体污染最大的是 TN,等标排放量为 29781.47 t,等标排放率为 40.43%,其次依次为 TP、NH₃-N、BOD₅,等标排放量为分别为 25671.32,8498.87,7661.24 t,等标排放率分别为 34.85%,11.54%,10.40%。而绝对排放

量最大的 COD 对水体污染最小,等标排放量仅为 2046.87 t,等标排放率仅为 2.78%。可见,清江流域畜禽养殖污染物中 TN 和 TP 是水体污染的主要因子,若不及时采取有效的污染防治措施,必然会加深清江流域水体富营养化程度。通过进一步分析(见图 2),在清江流域 10 个县市中对 BOD₅ 贡献最大的是恩施市,对 NH₃-N 贡献最大的是利川市,对 COD、TP、TN 贡献最大的是宜都县,而对 BOD₅、COD、NH₃-N、TP、TN 贡献最小的是鹤峰县。

表 8 不同污染因子进入清江流域的等标污染物排放量
Tab. 8 Equal standard pollution discharge amount of different pollution factors into water bodies in Qingjiang basin

年份	不同污染因子的等标污染物排放量 m / t					
	BOD ₅	COD	NH ₃ -N	TP	TN	总和
2008	6083.28	1625.57	6763.46	20204.20	23477.66	58154.16
2009	6787.03	1813.61	7508.36	22393.40	25905.06	64407.45
2010	7359.61	1967.15	8171.12	24530.70	28458.74	70487.32
2011	7981.25	2131.11	8848.74	27071.10	31420.82	77453.02
2012	8562.04	2287.66	9506.04	28818.60	33455.40	82629.74
2013	9194.24	2456.14	10195.48	31009.90	35971.14	88826.90
平均值	7661.24	2046.87	8498.87	25671.32	29781.47	73659.77

以等标污染物排放量为依据分析了不同畜禽种类(见图 3)和不同县市(见图 4)对水体污染的贡献率。由图 3、图 4 可知,清江流域各类畜禽养殖中对水体污染最大的是生猪,生猪养殖对水体污染的贡献为 55.83%;其次是羊和牛;家禽养殖对水体污染最小,

其贡献仅为 3.68%,主要是因为家禽养殖产生的粪便量少。为此,加强猪粪便管理与控制是避免清江流域水环境被污染的工作重点。在清江流域 10 个县市中,等标排放量最大的是宜都县,对水体污染的贡献是 16.33%。其次依次为长阳县、恩施市、利川市、巴东

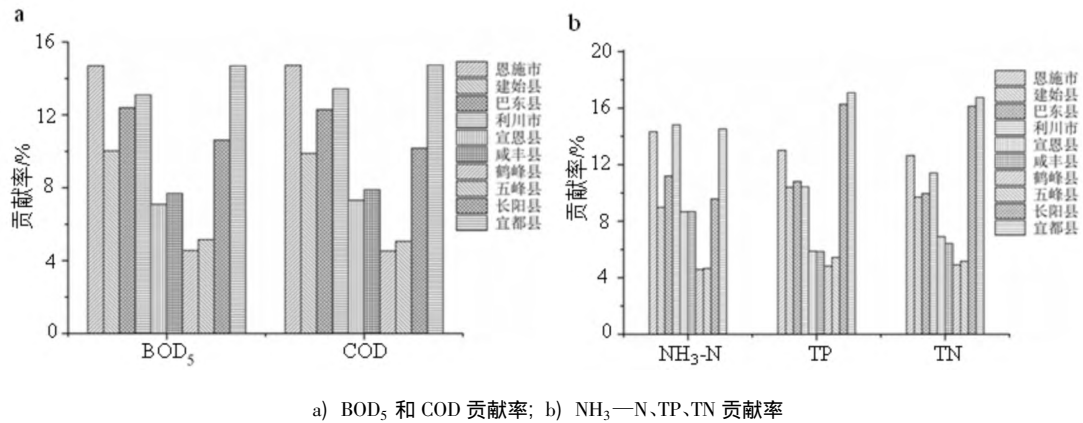


图2 不同县市对各污染因子的贡献率

Fig. 2 Contribution rate of different pollution factors from different counties

县、建始县、宣恩县、咸丰县、五峰县、鹤峰县,其对水体污染的贡献分别为 14.68% ,13.24% ,11.69% ,10.72% ,9.90% ,6.78% ,6.66% ,5.20% ,4.80% .

长阳县和巴东县畜禽养殖对环境污染呈现“较严重影响”的状态. 10 个县市中仅有利川市 ($R = 0.36$) 对当地环境“无影响”. 预计到 2027 年清江流域 10 个县市的畜禽养殖对当地的环境均将呈现“较严重”的影响.

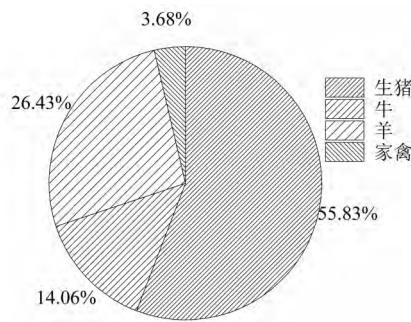


图3 不同畜禽对水体污染的贡献率

Fig. 3 Contribution rate of water pollutant from different livestock

(2) 2008 ~ 2013 年间,清江流域由于畜禽养殖产生的 BOD₅、COD、NH₃-N、TP 和 TN 逐年增加,年均增长率分别为 8.53% ,8.55% ,8.47% ,8.91% ,8.94%. 年均产生量最大的是 COD 223057.59 t ,占污染物产生总量的 39.72% ,产生量最小的是 NH₃-N 18433.59 t ,仅占污染物产生总量的 3.48% .

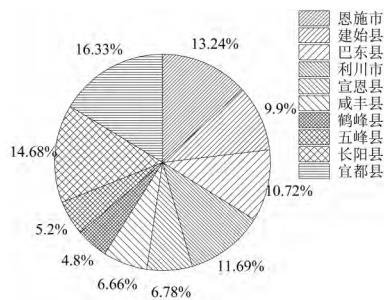


图4 不同县市对水体污染的贡献率

Fig. 4 Contribution rate of water pollutant from different counties

(3) 清江流域畜禽养殖污染物中 TN 和 TP 是水体污染的主要因子,其等标排放率分别为 40.43% 和 34.58% . 必须采取有效的污染防治措施,防止清江流域水体富营养化程度的加深.

(4) 清江流域各类畜禽养殖中对水体污染最大的是生猪,其次是牛和羊,家禽养殖对水体污染最小. 为此,加强猪粪便管理与控制是避免清江流域水环境被污染的工作重点. 2008 ~ 2013 年,在清江流域 10 个县市中,对水体污染的贡献最大的是宜都县,其次依次为长阳县、恩施市、利川市、巴东县、建始县、宣恩县、咸丰县、五峰县和鹤峰县.

3 结论和建议

3.1 结论

(1) 清江流域 2008 ~ 2013 年这 6 年间畜禽粪便农田负荷平均为 20.30 t/hm², 预警值为 0.68, 说明清江流域畜禽养殖对整个流域的环境已经有一定的影响. 按照目前的增长趋势,到 2016 年底清江流域畜粪便负荷将接近限值 30 t/hm². 在清江流域的 10 个县市中,宜都县对当地环境污染呈现“很严重”的状态.

3.2 对策建议

(1) 合理布局和适度发展畜禽养殖业. 畜禽场的选址、布局要根据区域环境规划和环境容量来控制养殖场规模,划定禁养区,逐步关闭污染重、规模小、布局不合理的养殖场,推进规模化养殖.

(2) 建设标准的污染物处理设施. 逐步建立和完善大型畜禽养殖场畜禽粪便的综合治理设施,对于新建的畜禽养殖场,严格执行“三同时”制度,并实现污染物总量控制,切实解决畜禽养殖带来的环境问题.

(下转第 29 页)

- organic hydroperoxide stress in *Agrobacterium tumefaciens* [J]. *J Bacteriol* 2006 ,188(3): 842-851.
- [7] Klomsiri C Panmanee W Dharmstithi S et al. Novel roles of *ohrR-ohr* in *Xanthomonas* sensing , metabolism , and physiological adaptive response to lipid hydroperoxide [J]. *J Bacteriol* 2005 ,187(9): 3277-3281.
- [8] 田梦洋 何冬兰 李晓华 等. 豌豆根瘤菌 *ohrB* 基因的抗氧化和共生固氮表型[J]. 华中农业大学学报 2016(3): 54-60.
- [9] Caswell C C Baumgartner J E Martin D W. Characterization of the organic hydroperoxide resistance system of *Brucella abortus* 2308 [J]. *J Bacteriol* 2012 ,194(18): 5065-5072.
- [10] 周艳琳 何冬兰 李晓华 等. *katG* 基因在豌豆根瘤菌抗氧化中的功能[J]. 微生物学报 ,2015 ,55(7): 843-850.
- [11] Poole P S Blyth A Reid C J et al. Myo-Inositol catabolism and catabolite regulation in *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* [J]. *Microbiology* ,1994 ,140(10): 2787-2795.
- [12] Karunakaran R Ramachandran V K Seaman J C et al. Transcriptomic analysis of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* in symbiosis with host plants *Pisum sativum* and *Vicia cracca* [J]. *Bacteriol* , 2009 , 191 (12) : 4002-4014.
- [13] 程国军 周俊初 李友国. 华癸中生根瘤菌脂多糖突变株的共生能力[J]. 中南民族大学学报(自然科学版) 2008 27(2): 11-13.
- [14] Si M Wang J Xiao X et al. *Ohr* protects *Corynebacterium glutamicum* against organic hydroperoxide induced oxidative stress. [J]. *Plos One* 2015 ,10(6): e0131634 .
- [15] Domingos R M Meireles D D A Neto J F D S ,et al. Structural and biochemical comparative analysis among Cys-Based *Ohr/OsmC* protein family: insights on their high reactivity towards hydroperoxides [J]. *Free Radical Bio Med* 2014 76: S156 – S157.

(上接第20页)

(3) 拓宽畜禽粪便资源化利用渠道. 由于清江流域地处山区, 可以通过建立一些小型沼气工程, 将畜禽粪便通过厌氧发酵生产沼气, 沼气作为燃料利用, 沼渣、沼液可用作有机肥料或掺入饲料喂猪、养鱼.

(4) 制定相关优惠政策. 畜禽养殖行业相对来说是一个微利行业, 在防治畜禽污染的过程中, 应制定一些政策给予适当的补贴; 对建立标准化治理设施和利用沼气技术处理畜禽粪便的养殖场, 给予适当的资金支持. 制定鼓励生产、使用有机肥的优惠政策.

参 考 文 献

- [1] 阎波杰 赵春江 潘瑜春 等. 大兴区农用地畜禽粪便氮负荷估算及污染风险评价[J]. 环境科学 2010 ,32(2): 437-443.
- [2] 王海英 周启霞 宋雅琪 等. 猪粪废水用于三角褐指藻培养的研究[J]. 中南民族大学学报(自然科学版) , 2014 22(4): 39-41
- [3] 宋大平 庄大方 陈 巍. 安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价[J]. 环境科学 2012 ,33(1): 110-115.
- [4] 张绪美 董元华 王 辉 等. 中国畜禽养殖结构及其粪便 N 污染负荷特征分析[J]. 环境科学 2007 ,28(6): 1311-1318.
- [5] 冯 倩 刘聚涛 付莎莎 等. 江西省畜禽粪便污染物产生量及其耕地负荷分析[J]. 安全与环境学报 , 2014 ,14(6): 316-319
- [6] 冯爱萍 王雪蕾 刘 忠 等. 东北三省畜禽养殖环境风险时空特征[J]. 环境科学研究 2015 ,28(6): 967-974.
- [7] 杨 飞 杨世琦 诸云强 等. 中国近 30 年畜禽养殖量及其耕地氮污染负荷分析[J]. 农业工程学报 2013 , 29(5): 1-5
- [8] 国家环境保护总局自然生态保护司. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 14-103.
- [9] 朱建春 张增强 樊志民 等. 中国畜禽粪便的能源潜力与氮磷耕地负荷及总量控制[J]. 农业环境科学学报 2014 ,33(3): 435-445
- [10] 易发钊. 梅江流域畜禽养殖排放污染物潜在负荷估算及其空间分布[D]. 南昌: 江西师范大学, 2013: 24-25.
- [11] 刘培芳 陈振楼 许世远 等. 长江三角洲城郊畜禽粪便的污染负荷及其防治对策[J]. 长江流域资源与环境 2002 ,11(5): 456-460.
- [12] 侯世忠 张淑二 战汪涛 等. 山东畜禽粪便产生量估算及其环境效应研究[J]. 中国人口·资源与环境 , 2013 23(11): 78-81
- [13] 张景书 梁伟鹏 万云兵 等. 南海区畜禽养殖污染现状及防治对策[J]. 环境科学与技术 2006 ,29(1): 108-110.
- [14] 王 军. 潍坊市畜禽养殖污染生态防治研究[D]. 青岛: 中国海洋大学 2012: 18-49.