

汀江流域畜禽粪便污染负荷及其环境影响

张玉珍¹, 刘怡婧¹, 段 勇², 马荣欣²

(1. 福建省环境科学研究院, 福州 350007; 2. 福建师范大学 地理科学学院, 福州 350007)

摘要: 从汀江流域畜禽养殖业现状分析入手, 依据排泄系数法原理, 估算流域各县市的作物所需畜禽粪肥的最大量、畜禽污染物产生量和农田畜禽粪便负荷量, 并对畜禽养殖影响水环境进行分析。从调查中分析中可知, 流域集约化养殖场大多分布于中上游的长汀河、旧县河和汀江干流段, 地理分布过于集中, 局部地区环境风险较大。结果表明, 畜禽粪便环境承载量较大的河流依次为: 长汀河、濯田河、旧县河、黄潭河、汀江干流、永定河、桃溪河, 整个流域的畜禽污染已对环境产生风险, 尤其是长汀河、旧县河流域尤为突出。

关键词: 汀江流域; 畜禽粪便负荷; 环境风险评价

中图分类号: X592; X52

文献标识码: A

文章编号: 1003-2363(2009)03-0122-04

自 20 世纪 50 年代起, 许多国家开始进行大规模的集约化养殖, 在城市和郊区农村建立集约化畜禽养殖场。集约化畜禽养殖业在快速发展的同时, 由于养殖场的不合理布局或者缺少自有土地等因素造成种植业与养殖业脱离, 大量粪尿流失, 产生的污染日益严重, 成为城市和农村水环境的主要污染源^[1]。长期以来, 畜禽粪便一直作为农业生产的肥料返田使用。如果粪肥供给的养分超出当地农作物达到目标产量所需, 势必造成作物施肥过量。一方面不利于作物的生长; 另一方面, 增加了非点源污染物的来源量, 使周边水体受到严重的污染威胁。

国外学者从粪便的存储和处理、粪肥归田对水质的影响、畜禽污染防治以及最佳管理措施方面均开展了广泛的研究, 我国环保总局和上海市农业科学院环境科学研究所均对粪便负荷量做过大量的研究, 集中于对地区养殖污染现状、养殖场布局和污染防治对策等方面^[2-3]。但由于畜禽粪便负荷量指标参数不一, 造成评价结果也各有差异, 因此, 有必要建立一个既考虑作物达到目标产量的需求, 又尽可能地兼顾降低水环境受非点源污染风险的指标——耕地畜禽粪便最大负荷量, 以便进行畜禽养殖环境风险评价和污染控制管理。

2005 年汀江流域生产总值为 125.5136 亿元, 占全龙岩市 GDP 的 33%, 全流域在福建省西部经济建设中具有举足轻重的地位。从 20 世纪 80 年代后期开始, 城镇和农村以集约化规模饲养方式为主的畜禽养殖业得到了迅速发展, 畜禽污水未经处理任意流失, 污染汀江

各支流, 区内地表水环境趋于恶化^[4], 严重制约了本区生态环境的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

汀江是福建省唯一一条由北向南流入境外的河流, 地处福建省西部, 与粤、赣接壤, 东经 115°51'~117°17', 北纬 24°23'~26°08'(图 1)。是福建省的第三大河流, 它发源于武夷山南段东南部的宁化县治平乡境内木马山北坡, 主干流流经长汀、武平、上杭、永定四县, 全长 285 km, 集水面积 9666 km²。汀江干流流域(不包括金丰溪、芦溪和中山河)是福建省重点水土流失综合治理区, 也是客家人的主要聚居地之一。

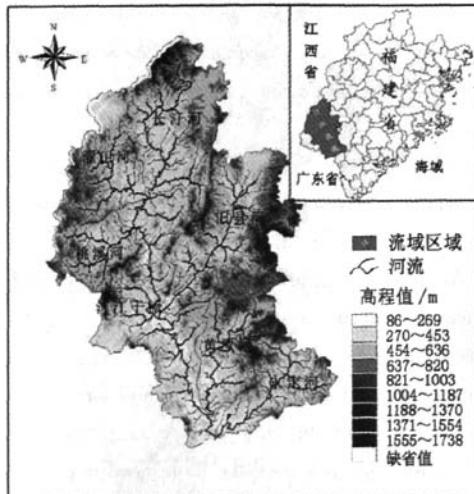


图 1 汀江流域地理位置图

Fig. 1 The schematic diagram of Tingjiang river watershed

收稿日期: 2008-09-22; 修回日期: 2009-04-06

基金项目: 福建省环保科技计划资助项目

作者简介: 张玉珍:(1964-),女,新疆乌鲁木齐市人,教授级高级工程师,博士,硕士生导师,主要从事流域水文与水环境研究,(E-mail)yz9893@163.com。

1.2 基础信息库建立

本研究以《上杭统计年鉴 2006》、《长汀统计年鉴 2006》、《永定统计年鉴 2006》、《武平统计年鉴 2006》、《连城统计年鉴 2006》、《新罗统计年鉴 2006》为基础数据, 在 GIS 支持下, 采用排泄系数估算法来估算其污染负荷量以及集约化养殖污染负荷的空间分布规律。依据《福建省统计年鉴 2006》和《福建省社会和经济统计年鉴 2006》(农村版)的基础数据, 同时收集图形资料(1:10万的福建省区划图), 利用桌面 GIS 软件 Arcview 3.3, 通过屏幕数字化完成地图数字化录入、编辑和拼接, 绘制出包括以县为单位的行政区划、水系、养殖场分布数字地图, 并建立属性数据库。

1.3 研究方法

由于受动物种类、生长期、饲料、天气等诸多因素影响, 各地家畜的粪尿排泄系数有差异。根据实地调查, 综合参考文献[3-5], 确定流域人和各类畜禽排粪、排尿系数及氮、磷含量。结合 Arcview 软件, 参考刘培芳, 陈振楼, 许世远等^[6]对长江三角洲城郊畜禽粪便的污染负荷计算公式, 采用排泄系数估算法来分析各地区集约化养殖粪便流失污染负荷

$$R = K \times \sum_{i=1}^n \alpha_i M_i \quad (1)$$

式中: R 为地区养殖粪便流失污染负荷量(万 t/a); K 为流失率(%); M_i 为各类畜禽养殖头数(万头); α_i 为各类畜禽年排泄系数(kg/头·a)。

农田畜禽粪便负荷量

$$q = Q/S = \sum X T / S \quad (2)$$

式中: q 为畜禽粪便以猪当量计的负荷量(t/hm²·a); Q 为各类畜禽粪尿相当猪粪总量(t/a); S 为有效耕地面积(hm²); X 为各地畜禽粪尿量(t/a); T 为各类畜禽粪尿换算成猪粪当量的换算系数。

2 畜禽饲养及其粪便污染负荷分析

2.1 畜禽饲养情况

据《福建农村统计年鉴 2006》资料统计, 2005 年全流域共有猪存栏数 152.9 万头, 大牲畜存栏数 12.4 万头, 家禽存栏数 794.1 万只, 其分布情况如表 1 所示。从中分析可以看出, 全流域养殖业中大中型养殖场畜禽的饲养量占总量的比重相当高, 其中家禽饲养量占全流域总额的 82%, 从支流分布情况来看, 以汀江干流和旧县河居多, 其次为永定河; 猪的饲养量约占全流域的 16%, 以汀江干流和永定河居多, 其次为旧县河、黄潭河; 牛属于大牲口, 全流域的饲养量为 12 万头, 约占全流域的 2%, 以汀江干流和旧县河居多, 其次为永定河、黄潭河。全流域大小规模化养殖场较多, 其中猪养殖场大约 2200

表 1 汀江流域畜禽饲养情况

Tab. 1 Number of livestock raised in Tingjiang river watershed

汀江流域	牛/万头	占流域 /%	猪/万头	占流域 /%	家禽 /万只	占流域 /%
长汀河	1.22	9.80	7.45	4.87	93.41	11.76
汀江干流	3.32	26.78	55.45	36.24	183.10	23.06
灌田河	1.15	9.31	5.49	3.59	68.52	8.63
黄潭河	1.33	10.74	22.12	14.46	83.26	10.49
旧县河	2.55	20.54	25.05	16.37	183.21	23.07
永定河	1.81	14.62	26.90	17.58	130.34	16.42
桃溪河	1.02	8.19	10.54	6.89	52.21	6.58
全流域	12.40	100.00	152.99	100.00	794.05	100.00

户, 各养殖场大部分分布在长汀河、旧县河和汀江干流。

2.2 畜禽粪便排泄系数和产生量估算

畜禽的粪便排泄系数是指单个动物每天排出粪便的数量, 它与动物的种类、品种、性别、生长期、喂养饲料甚至天气条件等诸多因素有关。根据上海市环境保护局推荐的估算系数, 参照日本农业公害手册和上海市农业科学院畜牧研究所试验所得畜禽粪便排泄系数^[6-7], 并结合闽江流域畜牧饲养的实际情况, 将畜禽粪便污染物的泄系数修正为表 2 所示数据。汀江流域的生猪生长期一般为 180 d, 肉禽为 55 d。

表 2 畜禽粪便年排泄系数

Tab. 2 Annual waste

discharge rate of various domestic animals

污染物	日排泄系数/(g·头) ⁻¹			年排泄系数/kg·(头·a) ⁻¹			牛	
	生猪	蛋禽	肉禽	牛	生猪	蛋禽	肉禽	
粪	2200	75	150	30000	396	27.375	8.25	10950
尿	2900	-	-	18000	522	-	-	6570
BOD ₅	203	6.75	13.5	805	36.54	2.46	0.74	293.83
COD _{Cr}	266	4.5	9	1100	47.88	1.64	0.5	401.5
氨氮	37.5	0.9	1.8	12	6.75	0.33	0.1	4.38

为估算方便, 将不同生长期、不同种类的禽畜, 转换为已知排泄系数动物的相应量, 进行畜禽粪尿产生量推算。根据全年畜禽饲养总量、畜禽粪尿及其污染物排泄系数得出本区畜禽粪便污染物的年产生量(表 3)。可见, 2005 年畜禽全年产生的粪量为 325.04 万 t, 尿液 206.24 万 t, 粪尿合计达 531.28 万 t, 污染物 BOD₅ 为 12.54 万 t, COD 为 16.06 万 t, NH₃-N 为 1.14 万 t, TN 为 6.77 万 t, TP 为 0.63 万 t。畜禽粪尿污染排放物中以长汀河排放量最多, 为 134 万 t, 占流域总量的 25%; 其次为汀江干流、旧县河、永定河、黄潭河、灌田河、桃溪河。污染物 BOD₅ 以汀江干流、永定河、长汀河较大。污染物 COD 以长汀河、汀江干流、旧县河、永定河较大。污

污染物 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 以汀江干流、永定河、长汀河较大, TN 以汀江干流、长汀河、永定河、旧县河较大。 TP 以长汀河、汀

表3 2003年汀江流域畜禽粪便污染产生量
Tab. 3 Production of domestic animal waste of Tingjiang river in 2003

支流	污染物						
	粪便	尿	BOD ₅	COD	氨氮	总氮	总磷
长汀河	86.462	47.482	2.651	4.429	0.201	1.242	0.157
灌田河	25.178	12.898	0.682	1.310	0.045	0.287	0.044
旧县河	47.052	30.337	1.880	2.308	0.177	1.042	0.094
黄潭河	33.295	24.172	1.579	1.577	0.163	0.939	0.070
永定河	45.389	31.945	2.063	2.169	0.209	1.210	0.095
桃溪河	14.773	9.789	0.595	0.726	0.054	0.321	0.028
干流段	72.887	49.618	3.093	3.542	0.294	1.730	0.142
全流域	325.036	206.242	12.542	16.061	1.143	6.771	0.630

2.3 畜禽粪便污染物负荷

2.3.1 畜禽粪便流失污染负荷估算。畜禽粪便一般通过两种途径进入水体：一是在饲养过程中直接排放进入水环境；二是在堆放储存过程中因降雨和其他原因进入水体（表4）。研究表明，畜禽粪便的流失率为30%~40%。根据养殖粪便流失污染负

荷 R 公式(1)计算,系数 K 按流失率 30% 计算,2005 年本区畜禽粪便污染的流失污染负荷量为: 粪尿量 159.38 万 t, BOD₅ 为 3.76 万 t, COD_{Cr} 为 4.82 万 t, NH₃-N 为 0.34 万 t, TN 为 2.03 万 t, TP 为 0.19 万 t。其中以长汀河畜禽粪便污染的流失污染负荷量最大,为 40.2 万 t。

表 4 2003 年闽江流域畜禽粪便流失污染负荷
Tab. 4 The annual loss of livestock waste of Minjiang river in 2003

支流	污染物						
	粪便	尿	BOD5	COD	氨氮	总氮	总磷
长汀河	25.94	14.24	0.80	1.33	0.06	0.37	0.05
灌田河	7.55	3.87	0.20	0.39	0.01	0.09	0.01
旧县河	14.12	9.10	0.56	0.69	0.05	0.31	0.03
黄潭河	9.99	7.25	0.47	0.47	0.05	0.28	0.02
永定河	13.62	9.58	0.62	0.65	0.06	0.36	0.03
桃溪河	4.43	2.94	0.18	0.22	0.02	0.10	0.01
干流段	21.87	14.89	0.93	1.06	0.09	0.52	0.04
全流域	97.51	61.87	3.76	4.82	0.34	2.03	0.19

2.3.2 农田畜禽粪便负荷量分析。目前,流域畜禽粪便处理的主要出路是作为有机肥料直接还田,因此,统计流域畜禽粪便负荷量应以农田面积作为实际的负载面积。采用农田畜禽粪便负荷量这一量化指标可以间接衡量当地畜禽饲养密度及畜禽养殖业布局的合理性^[7]。鉴于各类畜禽粪便的肥效养分差异很大,统一换算成猪粪当量值加以分析,如表5所示。依据公式(2)计算可得2005年各支流流域的畜禽粪便负荷量(表6)。

在地域分布上,畜禽粪尿环境承载量较大的河流依次为:长汀河、灌田河、旧县河、黄潭河、汀江干流段、永定河、桃溪河,总体上汀江流域上游长汀段承载量高于下游河段。从全流域来看,承载量大于 $3t/亩$ 的河流是长汀河、灌田河、旧县河、黄潭河、汀江干流等5条;承载

表5 畜禽排泄物含氮量及猪粪当量换算系数^[8]
 Tab. 5 Equivalent loading
 amount of pig dropping of domestic
 animal and nitrogenous amounts in livestock waste

排泄物	猪粪	猪尿	牛粪	牛尿	家禽	人粪
猪粪当量	1	0.51	0.69	1.23	2.1	1.4
换算系数						

量大于 $4V$ 亩的河流有长汀河、灌田河2条；承载量大于 $5V$ 亩的河流只有长汀河。警报值反映了农田对畜禽粪尿的承受程度（表7），随着警报值的增大，畜禽粪尿将逐渐超过农田承载能力，环境对畜禽粪尿的承受能力逐渐降低，对环境造成污染的威胁也随之越来越大。警报

表 6 2003 年汀江流域畜禽粪便当量负荷量

Tab. 6 Equivalent loading

amount of pig dropping of domestic animal in 2003

流域	猪粪当量/万 t·a ⁻¹	农田面积 ⁽¹⁾ /万 hm ²	q 值	警报值 r ⁽¹⁾
长汀河	1276536.0	244022.6	5.23	1.31
濯田河	369790.6	79617.5	4.64	1.16
旧县河	705076.3	192351.3	3.67	0.92
黄潭河	501491.4	158781.3	3.16	0.79
永定河	683767.1	234451.3	2.92	0.73
桃溪河	216443.6	85625.0	2.53	0.63
干流段	1078780.0	311268.8	3.47	0.87

说明:1)考虑部分粪肥施于山地果园,农田面积 = 耕地面积 × 1.25。2)警报值 $r = q/p$, 其中 q = 各地畜禽粪便猪粪当量负荷; p = 农田以猪粪当量计的有机肥最大适宜施用量(100t/hm²·a)⁽⁹⁾。

值及其分級数越高表明畜禽粪尿对环境构成的污染威胁越大^[10]。过高的畜禽粪尿耕地承载量不仅无益于作物,而且会导致污染物从地表流入河水中,引起环境污染。

从目前流域畜禽粪尿承载量的实际情况分析(表 6, 7), 流域平均环境承载量警报值为 0.92, 已超过 2 级警报值, 其中长汀河警报值达到 4 级, 濯田河警报值达到 5 级, 旧县河、黄潭河、汀江干流、永定河警报值达到 3 级, 桃溪河警报值达到 2 级。由此可以反映, 汀江流域畜禽粪尿承载量已较大程度地超过了农田环境的消化能力, 长汀河、濯田河流域对环境已构成严重的污染威胁。

表 7 农田对畜禽粪尿承受程度警报值

Tab. 7 The alert value of farmland endure degree for livestocks and poulties' excrements

项目	分级						
	警报值 r	≤0.4	0.4~0.7	0.7~1.0	1.0~1.5	1.5~2.5	>2.5
级数	1	2	3	4	5	6	
对环境构成的污染威胁	不显著	有	较显著	严重	很严重	恶化	
畜禽粪尿承载量	≤1.6	1.6~2.5	2.8~4.0	4.0~6.0	6.0~10	>10	

4 结论

(1) 汀江流域畜禽养殖业发展迅速,特别是家禽养殖增长速度较快,流域大多数集约化养殖场集中分布于中上游,主要集中在长汀河、旧县河和汀江干流段,且以河流两侧乡镇为主,近年来,畜禽养殖有向汀江干流扩散的趋势。由于养殖业的地理分布过于集中,造成局部区域养殖污染负荷过高,环境风险较大。

(2) 通过计算得到 2005 年该流域集约化养殖产生的粪便污染物的流失污染负荷量为: 粪尿量 159.38 万 t, BOD_5 为 3.76 万 t, COD_{cr} 为 4.82 万 t, NH_3-N 为 0.34 万 t, TN 为 2.03 万 t, TP 为 0.19 万 t。其中以长汀河畜禽粪便污染物的流失污染负荷量最大,为 40.2 万 t。采用农田畜禽粪便负荷量指标计算得到: 畜禽粪尿环境承载量较大的河流依次为: 长汀河、濯田河、旧县河、黄潭河、汀江干流段、永定河、桃溪河, 总体上汀江流域上游长汀段承载量高于下游河段。承载量大于 3t/亩的流域有 5 条,主要是长汀河、濯田河、旧县河、黄潭河、汀江干流; 承载量大于 4t/亩的流域有 2 条: 长汀河、濯田河; 承载量大于 5t/亩的流域有长汀河。因此,应适度发展流域的畜禽养殖业,并要解决畜禽粪便的出路问题。

(3) 畜禽粪便污染对流域水环境的影响较为显著。流域水质污染严重河段分布与农田畜禽粪便当量负荷量警报值相一致。大部分分布在长汀河、旧县河和汀江干流流域两侧,因此,加强流域内各支流养殖业的管理

迫在眉睫,尤其是对高污染、高负荷区域养殖业的管理更为重要。

参考文献:

- [1] 范家霖,胡默言,杨晓薇,等.新农村建设中的环境问题研究[J].地域研究与开发,2007,26(6):65~69.
- [2] Hooda P S, Edwards A C, Anderson H A, et al. A Review of Water Quality Concerns in Livestock Farming Areas [J]. The Science of the Total Environment, 2000, 250 (5):143~167.
- [3] 曾悦,洪华生,曹文志,等.九龙江流域规模化养殖环境风险评价[J].农村生态环境,2005,21(4):49~53.
- [4] 郑菊珍.汀江水污染现状及成因[J].闽西职业技术学院学报,2006,6(2):118~121.
- [5] 谢蓉.上海市畜牧业污染控制与黄浦江上游水源保护[J].农村生态环境,1999,15(1):41~44.
- [6] 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(9):457~460.
- [7] 黄沈发,陈长虹,贺军峰.黄浦江上游汇水区畜牧业污染及其防治对策[J].上海环境科学,1994,13(5):4~8.
- [8] 高定,陈同斌,刘斌,等.我国畜禽养殖业粪便污染风险与控制策略[J].地理研究,2006,25(2):311~319.
- [9] 张玉珍,洪华生,曾悦,等.九龙江流域畜禽养殖业的生态环境问题及防治对策探讨[J].(下转第 134 页)

Study on the Spatial Uniformity of Economic and Social Index Based on Geographic Information System

LI Jun¹, HU Yun-feng²

*(1. Academy of Marco-economy Research, NDRC, Beijing 100038, China; 2. Institute of
Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)*

Abstract: Various level administrative units-based statistic economic and social data is still the main data sources for many applications in the filed of society and economy. Administrative unit—based statistic data present the average status for certain social and economic index. Because the difference of same level administrative unit is quite large, so the larger the administrative unit area, the less inner uniformity. To calculate the uniformity of economic and social index, the paper introduce a method to calculate the uniformity for provincial level administrative units. Firstly, 1km × 1km grid data for GDP, population and industry value are calculated based on the county level administrative unit. Secondly, the Moran index is calculated for each provincial level administrative unit for each economic and social index. Finally the Moran index-named uniformity index is used to explain the social and economic index distribution uniformity for each provincial administrative unit in China.

Key words: economic and social statistic data; geographic information system; spatial discretization; uniformity index

(上接第 125 页)

- 重庆环境科学,2003,25(7):30-34.
 [10] Ryusuke H, Takuro S, Zheng T, et al. Nitrogen Budget
and Environmental Capacity in Farm Systems in A

Large-scale Karst Region Southern China [J]. Nutrient
Cycling in Agroecosystems, 2002, 63(2/3):139-149.

Environmental Risk Analysis and the Load of Livestock Manure in Tingjiang River Watershed

ZHANG Yu-zhen¹, LIU Yi-jing¹, DUAN Yong², MA Rong-xin²

*(1. Fujian Institute of Environmental Science, Fuzhou 350007, China;
2. College of Geographical Science of Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)*

Abstract: For the purpose of environment protection, the maximum admissible load of livestock manure in the watershed of Tingjiang was calculated based on the principles of soil-plant nutrition and the theory of scientific fertilization. Secondly environmental risk of livestock in each community within the watershed was evaluated. The results indicate that the pollution caused by livestock threatens the quality of the watershed with different extents, especially in the Chanting river and the Jiuxian river.

Key words: environmental risk assessment; load of livestock manure; Tingjiang river watershed