

九龙江流域规模化养殖环境风险评价

曾悦, 洪华生, 曹文志, 陈能汪 (厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室 环境科学研究中心, 福建 厦门 361005)

摘要: 在 GIS 支持下采用养分收支平衡法对九龙江流域规模化生猪养殖的环境风险进行评价。规模化养殖污染负荷在不同类型养殖场的分配、空间分布规律以及规模化养殖的环境风险评价结果表明: 规模化养猪业年产粪尿量达 107 万 t, 以小型规模化养殖场产生的污染负荷最高; 整体来看, 规模化生猪养殖的环境风险不大, 但由于养殖场的地理分布集中, 造成近郊区域规模化养殖的环境风险极高; 由于过多施用化肥, 中远郊规模化养殖粪尿未得到合理利用而流失。位于水系附近的养殖场对水体影响较大, 根据“福建省畜禽养殖污染防治管理办法”, 为减少规模化生猪养殖对九龙江水质的直接威胁, 需搬迁主要支流沿岸 1 km 范围内的规模化养猪场 250 个。

关键词: 规模化养殖; 环境风险评价; 氮; 磷; 养分平衡方法; GIS

中图分类号: X592; X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 5906 (2005) 04 - 0049 - 05

Environmental risk assessment of intensive animal production in Jiulong River Watershed ZENG Yue, HONG Huasheng, CAO Wen-zhi, CHEN Neng-wang (State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005, China). *Rural Eco-Environment*, 2005, 21 (4): 49 - 53

Abstract: With the rapid growth in the number and size of intensive livestock enterprises in China, livestock waste in a huge amount has become one of the main sources of water pollution. Environmental risk assessment of the intensive animal production in the Jiulong River Watershed was conducted with the aid of GIS and the nutrient balance method. The findings of the study of spatial distribution of pollution loads and the environmental risk assessment show that a total of 1 070 000 tons of manure is produced annually from the pig farms in the region, among which those small in scale contribute the most to the environmental pollution load. Generally speaking, the pig farms up in scale do not pose much environmental risk. However, high environmental risk is found in some suburban and exurban regions where such pig farms concentrate and produce large amounts of pig manure that cause great impact on the environment in addition to the excessive application of chemical fertilizer. Animal production units located near streams pose higher threat to the waterbodies. It is, therefore, suggested that in order to reduce their impact on water quality and urban environment, the 250 pig farms located near streams should be moved at least 1 km away from the rivers and their main tributaries.

Key words: intensive animal production; environmental risk assessment; N; P; nutrient balance method; geographic information system;

规模化畜禽养殖业在快速发展的同时, 由于养殖场的布局不合理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, 成为城市和农村水环境的主要污染源。在农业生态系统中, 氮磷等养分一般按土壤—植物—动物—土壤的途径流动, 构成农业生态系统养分循环的最简单形式。其中动物排泄物于放牧条件下直接返回土壤, 或于集约化条件下经农业施肥进入土壤。如果进入农田的动物排泄物超出了作物对养分的需求, 便存在向环境流失的危险。因此, 可用农田对畜禽粪养分的消纳能力来评价畜禽养殖的环境风险程度^[1-2]。

地理信息系统 (geographical information system, GIS) 是将电子地图与数据库结合在一起的计算机

技术系统, 具有强大的空间数据管理、空间分析及可视化分析功能。鉴于畜禽养殖业污染具有明显的地理及空间分布特征, 因此在研究中有必要引入 GIS 作为分析和评价的辅助手段。本研究以九龙江流域为例, 在 GIS 支持下, 采用养分收支平衡方法评价规模化养殖养分流失的环境风险, 并分析其污染负荷的空间分布规律, 为流域畜禽养殖业污染控制和管理提供科学依据。

基金项目: 福建省重大科技攻关项目 (2002H009)

收稿日期: 2005 - 04 - 18

通讯联系人

1 材料与方法

1.1 研究区概况

九龙江是福建省第 2 大河流,地处该省经济较为发达的东南沿海,由北溪、西溪和南溪 3 条主要支流构成。流域总面积 1.47 万 km²,地跨南亚热带和中亚热带,属亚热带季风气候区。年均气温 19.9~21.1,年均降水量 1400~1800 mm。地貌以中低山为主,土壤以红壤为主。行政区包括龙岩新罗区等 9 个县(市、区)。20 世纪 90 年代以后,九龙江流域畜禽养殖业发展较快,尤其规模化养猪业已成为该流域农业和农村经济的重要产业。因此,本研究以规模化养猪业作为主要研究对象。

1.2 基础信息库建立

收集图形资料(1:20 万的龙岩、漳州 2 市行政区划图),利用桌面 GIS 软件 Map Info,通过屏幕数字化完成地图数字化录入、编辑和拼接,形成点、线、面 3 个图层,绘成包括以镇为单位的行政区划、水系、养殖场分布数字地图,并建立属性数据库。

1.3 家畜排污系数估算

由于受动物种类、品种、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,综合其他参考文献^[3-4],并结合当地实际情况,确定 180 日生长期的生猪日排泄系数(g·头⁻¹)分别为:粪 2200、尿 2900、总氮 25.06、总磷 9.44。

1.4 粪肥提供的可利用养分量估算

粪肥提供的可利用养分量计算公式为:

粪肥提供的可利用养分量 = 饲养量 × 年养分排放量 × 自然损失因子 × 管理因子 (1)

其中粪尿氮在收集、贮存、运输以及施用过程中部分以氨形式挥发,参考相关研究假设挥发量为总氮的 30%^[5];管理因子即在家畜养殖过程中可收集的粪肥量,根据研究区实际养殖业废弃物的管理水平,一般定为 70%;流域各镇的规模化养猪场数量及分布来自流域各市农业局统计资料。

1.5 作物养分需求量估算

作物养分需求量为作物年产量乘以单位作物产量所需的养分量(表 1),各镇作物年产量来自流域各市统计局 2003 年统计年鉴。

1.6 氮磷养分平衡计算

养分收支平衡分析用来评估养殖业对环境的潜在影响。本研究采用的养分收支平衡 = 畜禽粪尿提供给作物的可利用养分量 / 作物养分需求量,研究中

将该比值定义为养分失衡率。如在理想状态下,畜禽粪尿提供的可利用养分量等于作物养分需求量,系统养分处于平衡状态,养分失衡率为 1,即无环境风险。当比值超过 1 时,表明粪尿提供的养分已超出作物需求,对环境构成压力,例如养分失衡率为 2,畜禽粪尿提供的可利用养分量是作物养分需求量的 2 倍,即畜禽养殖废弃物中有 50% 的养分流失于环境。养分失衡率比值越高,表明系统养分流失于环境的可能性越大。但由于畜禽排泄物中养分会因自然挥发、径流流失以及地下淋失等而有一定损失,所以畜禽粪尿提供的可利用养分量一定会大于作物养分需求量,即二者比值大于 1,因此二者比值的高低仅用来评估养殖业对环境的潜在风险,以及进行区域间养殖业环境风险的比较。

表 1 作物形成 100 kg 产量需吸收成营养元素量^[6-7]

元素	水稻	水果 ¹⁾	蔬菜 ¹⁾
氮	2.2	0.46	0.32
磷	0.8	0.14	0.09

1)平均值。

在实际农业生产活动中,作物所需养分来自粪肥和化肥,由于化肥较粪肥使用方便、肥效快,因此农户更偏向于使用化肥,因此造成粪肥流失。所以要评价粪肥的环境风险,还需考虑化肥的影响。如果同时考虑化肥氮磷输入,则养分平衡计算公式为:养分失衡率 = [(粪肥提供的可利用养分量 + 化肥提供养分量) / 作物养分需求量] × 100 (2)

2 结果与讨论

2.1 规模化养猪场空间分布及污染现状

据 2003 年流域各市农业局统计资料,流域共有集约化养猪场 1255 个,以存栏规模 200~500 头的养殖场为主(表 2)。除了大型规模化养殖场在流域南部地区分布较均衡外(图 1),大多数规模化养殖场呈聚集性分布,其原因是养猪业的纵向联合有助于养殖户获得更大的经济收入,为此形成了养猪生产的规模效应以及地理分布的集中性^[8]。根据家畜排污系数估算得 2003 年九龙江流域集约化

龙岩市农业局. 龙岩集约化养殖场统计数据. 2003

漳州市农业局. 漳州集约化养殖场统计数据. 2003

养殖场年产粪尿总量达 107 万 t,年排放总氮、总磷分别为 5 287 t、1 976 t。国内已有的研究表明,大多数地区的畜禽粪尿水体流失率在 30% ~ 40% 之间^[9-10]。据实地调查,流域养殖场粪肥流失较严重,因此确定猪粪尿水体流失率以 40% 计,由此算得进入水环境的总氮为 2 114 t、总磷为 790 t。其中,小、中和大型规模化养猪场排放的粪尿量分别占 44.7%、20.5% 和 34.8%。

表 2 九龙江流域规模化养猪场数量

Table 2 Number of intensive pig farms in different sizes in the Jiulong River Watershed

规模 / 头	养殖场数	总存栏数 / 头
200 ~ 500	962	259 699
500 ~ 1 000	193	119 221
>1 000	100	202 138

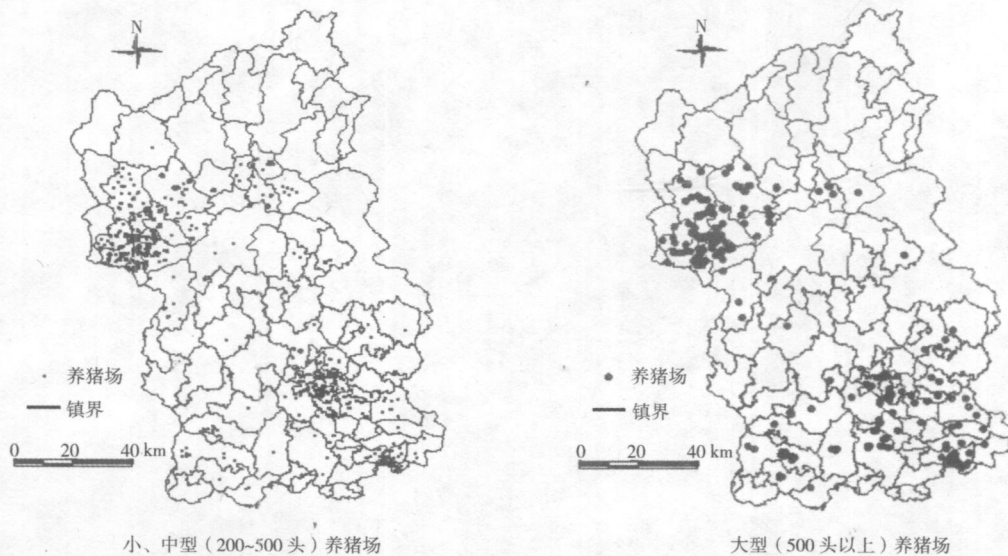


图 1 九龙江流域养猪场分布

Fig 1 Distribution of intensive pig farms in the Jiulong River Watershed

2.2 养分收支平衡分析

流域各乡镇养分收支平衡比例如图 2a、图 2b 所示,大部分区域养分收支平衡比例小于或等于 1,这说明大多数乡镇有足够的耕地可用来消纳规模化养猪场产生的粪尿,因此只要合理利用,猪粪尿对周边环境的影响不大。但是,有 9 个乡镇(占 7.7%)养猪场提供的氮和 13 个乡镇(占 11.1%)养猪场提供的磷超过了作物需求。从养分平衡的空间分布可以看出,养殖场在局部区域过于密集,造成粪肥氮产生量远远超过农田可消纳量,养殖业环境风险较大。这些乡镇的氮磷失衡率平均值分别为 256% 和 326%,最高值分别达到 621% 和 1 037%。可见畜禽养殖排泄养分中磷的环境风险大于氮,其原因是粪肥磷氮比例(1.4)高于作物磷氮需求比例(1.8)。因此如果以粪肥中的氮含量来确定施肥量,必然造成磷在土壤表层盈余,增大流失几率^[11]。

结果还表明,养殖业对环境影响较大的乡镇主

要分布在距市中心半径为 10 km 范围的近郊。其主要原因是一方面在近郊区域,由于中心城区扩张、乡镇企业的发展、私人造房以及国家征用,造成耕地面积大幅度减少;另一方面由于运输、销售和产业联合等因素,使养殖场集结在近郊和市郊的结合部。中远郊由于距离市区较远,规模化养猪场数量有限,大部分乡镇粪尿负荷不高,尚未对环境构成明显威胁,但仍存在少数区域粪尿负荷高的问题。

在现代农业生产中,化肥已成为不可或缺的投入物质。因此综合考虑化肥投入将与实际农事活动更接近^[12]。考虑化肥输入后的养分收支平衡分析结果表明,肥料中氮、磷量已大大超出作物需求,绝大部分区域氮磷已经进入水土环境,对环境构成很大威胁,见图 2c、图 2d,实地调查结果也证实了这一环境问题。由于家畜粪尿存在恶臭、运输、利用等问题,农户对化肥的需求增长过快,不仅导致养分资源浪费,还使猪粪尿直接流失,污染水环境。

从上述分析可知,为减小规模化养殖对环境的压力,加强近郊养猪业的管理迫在眉睫,尤其是加强对高负荷区域养猪场的管理更为重要。可以按照“以地定畜”的原则,积极引导小型规模化养殖业联合经营或迁往耕地富足的区域,采用种养结合的生态养殖模式,控制养殖数量;同时,还需要有效解决

家畜粪便运输、堆放和还田等具体问题。最常用的手段是将粪肥加工成有机肥运往缺肥区域,这样既可减少化肥使用,又可使粪肥资源化,实现农业生态系统的良性循环,避免污染环境,在短时间内达到立竿见影的效果。此外,在种养结合区域加强粪肥施用管理也可减少养分流失。

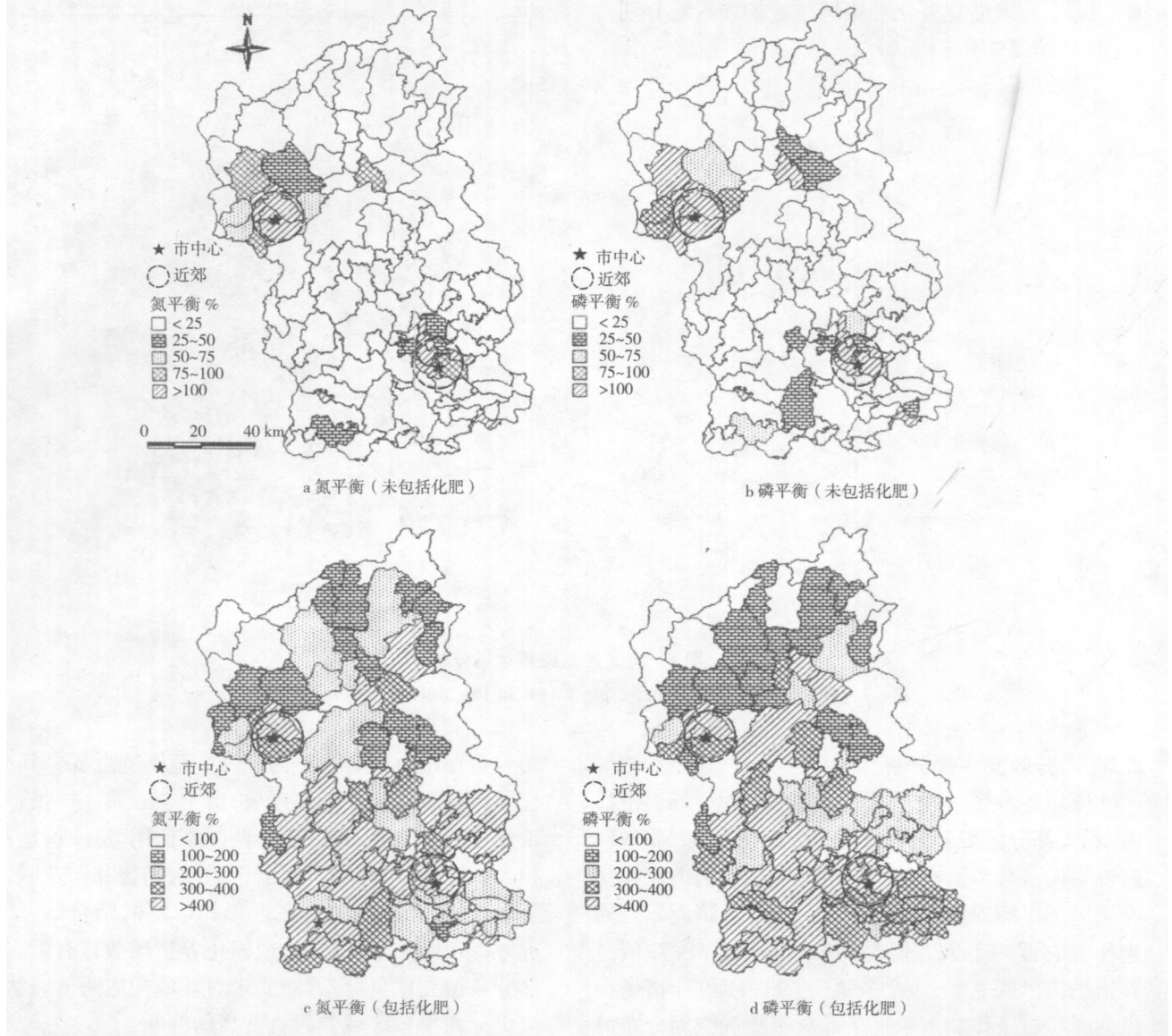


图 2 九龙江流域耕地氮磷养分平衡

Fig 2 Nitrogen and phosphorus balance in farm land of the Jilong River Watershed

2.3 养殖业禁建区缓冲分析

养殖场布局不合理不仅造成种植业和养殖业脱离,还可能造成养殖场直接处于环境敏感区域,引发严重的环境问题。比如规模养殖场选址时多选择在取水方便、水量充足的地上或地下水系沿线,而临近

河道的养殖场常将粪尿直接排入河道,对水体造成污染。因此为消除养殖业对流域城镇环境及主要河道水质的威胁,必须在流域干流和主要支流一定范围的陆域划定养殖业禁建区。在禁建区内严禁新建养殖场,对于已有的养殖场责令限期实现达标排放,

或予以搬迁、取缔。根据“福建省畜禽养殖污染防治管理办法”及流域各县市的相关规定,九龙江流域 3 条主要支流(北溪、西溪、南溪)沿岸 1 km 范围陆域为禁建区。利用 Map Info 的缓冲分析功能,对主要支流进行缓冲分析,可以得出沿岸 1 km 的禁建区域(图 3)。经统计显示,养殖禁建区内粪尿负荷量达 32.4 万 t,已占流域规模化养殖排污总负荷的 1/3,对水环境影响极大。在养殖业禁建区内有 250 个规模化养猪场需要搬迁,搬迁后将分别削减 1 106 t 总氮和 376 t 总磷进入水体,分别占流域氮磷总排放量的 21% 和 19%。该结果可在畜禽养殖业污染综合整治中为政府管理部门提供科学依据,但在实施规模化养殖场搬迁计划前,还必须进行相关的技术经济分析,并在搬迁前制定科学合理的养殖业布局规划,以避免搬迁后产生二次污染问题。

化肥过量使用,因而这些区域养猪场粪尿流失问题也不容忽视。

(4) 位于流域干流和主要支流沿岸 1 km 范围内的规模化养猪场对水环境影响极大,养分流失风险较高,该禁建区内规模化养殖排污负荷占全流域规模化养殖污染负荷的 1/3。根据“福建省畜禽养殖污染防治管理办法”中划定的禁建区,需搬迁 250 个位于禁建区内的规模化养猪场,可削减直接入河的粪尿量达 32.4 万 t 左右,削减总氮、总磷入河量分别为 1 106 和 376 t。

(5) GIS 能将不同来源的空间信息及其相互关系方便地显示出来,因此利用 GIS 分析规模化养殖场的空间分布,并结合养分收支平衡方法评估其环境风险,既直观又简单实用,将十分有助于政府管理者进行判断分析,从而做出科学合理的决策。

参考文献:

- [1] Watson CA, Atkinson D. Using nitrogen budgets to indicate nitrogen use efficiency and losses from whole farm systems: a comparison of three methodological approaches [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1999, 53 (3): 259 - 267
- [2] Zou X, Gerber P, Li H, et al Nitrogen and phosphorus balance analysis of cultivated land in Jiangsu Plain, China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46 (Supp): 113 - 116
- [3] 王新谋. 家畜粪便学 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1997: 266 - 270
- [4] 张克强, 高怀友. 畜禽养殖业污染物处理与处置 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 22 - 26
- [5] Ryusuke H, Takuro S, Zheng T, et al Nitrogen budgets 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
- [6] 陈阜. 农业生态学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 262
- [7] 骆世明, 陈聿华, 严斧. 农业生态学 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1987: 456 - 461
- [8] Ribaudo MO, Gollehon NR, Agapoff J. Land application of manure by animal feeding operations: is more land needed? [J]. *J Soil Water Conserv*, 2003, 58 (1): 30 - 38
- [9] 国家环境保护总局. 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: 26 - 27
- [10] 王晓燕, 王一响, 王晓峰, 等. 密云水库小流域土地利用方式与氮磷流失规律 [J]. *环境科学研究*, 2003, 16 (1): 30 - 33
- [11] Sutton AL. Proper animal manure utilization [J]. *J Soil Water Conserv*, 1994, 49 (2): 65 - 70

作者简介: 曾悦 (1973—), 女, 黑龙江大庆人, 博士生, 研究方向为环境与资源管理。

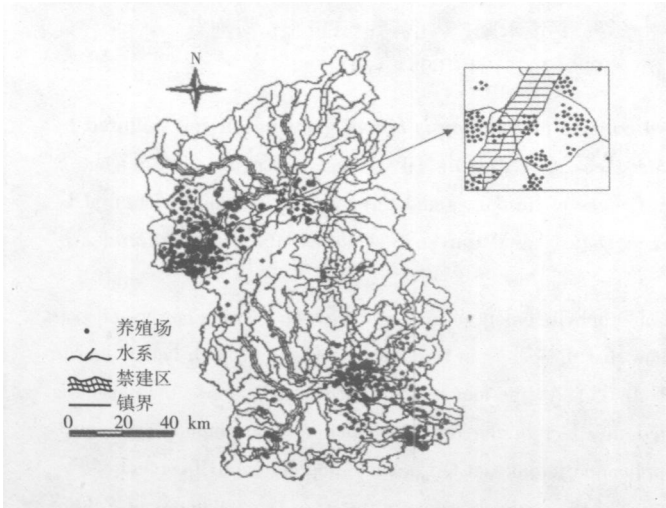


图 3 九龙江流域主要支流沿岸禁建区示意

Fig 3 One-km buffering areas along the main tributaries of the Jiulong River Watershed

3 结论

(1) 九龙江流域大多数规模化养猪场集中分布在市郊附近, 仅大型规模化养猪场在流域南部地区分布较均衡。由于养猪场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) 该流域规模化养猪业产生的粪尿达 107 万 t, 小型规模化养猪场粪尿排放量在规模化养猪场排污总量中所占比例最大。

(3) 养分收支平衡分析表明, 近郊养猪业对环境压力最大, 该区域养殖排泄物中磷环境风险大于氮。虽然从整体看流域远郊有足够的耕地可用来消纳规模化养猪场产生的粪尿, 环境风险不大, 但由于