

# 云南保山市畜禽养殖污染现状及环境影响分析

谢飞<sup>1</sup>, 刘家宝<sup>2</sup>, 王磊<sup>1</sup>, 尹晓青<sup>1</sup>

(1. 保山市农业环境保护监测站, 云南保山 678000;

2. 保山市食品药品检验检测中心, 云南保山 678000)

**摘要:** 【目的】研究畜禽粪便污染物对耕地、水体的环境影响, 以为保山市农业环境保护提供参考和依据。【方法】基于2022年云南保山市畜禽养殖数据, 利用产污系数法、等标污染负荷法、耕地负荷污染风险评估法核算畜禽养殖污染负荷, 分析畜禽养殖污染对耕地和水体的环境影响, 确定主要污染来源。【结果】隆阳区畜禽粪便污染负荷总量占比全市最高为25.93%, COD的产生量最大占比89.66%; 保山市畜禽粪便氮、磷耕地负荷量分别为63.18kg/hm<sup>2</sup>、22.50kg/hm<sup>2</sup>; 全市等标污染指数为2.90, 施甸县的等标污染指数最高为5.90, TP的等标污染指数最高为7.34; 牛、猪的等标污染负荷比最高分别为50.95%、39.78%。【结论】保山市各县(市、区)畜禽粪便氮耕地负荷均在限量值以下, 氮对耕地的污染处于风险水平以下, 龙陵县磷耕地负荷超过限量值, 对耕地存在污染风险; 施甸县畜禽粪污对水环境污染风险最高; 畜禽粪便污染物中磷对水环境的污染威胁最大。

**关键词:** 畜禽养殖; 耕地; 水环境; 污染风险

## 引言

随着人口增长和经济发展, 社会对畜禽产品的需求也在逐年增加。畜禽养殖产业的快速发展虽然保障了畜禽产品的供给, 但因畜禽养殖污染对环境构成的污染风险也在上升, 已经成为农业面源污染的主要成因之一。畜禽粪便如果处置不当, 超出农田的消纳能力, 在降雨径流的冲刷、淋溶作用下, 畜禽养殖粪污产生的氮、磷、有机污染物会进入到地表水和地下水, 并在水中大量富集从而导致水环境污染<sup>[1]</sup>。本研究以云南保山市为研究区域, 分析畜禽养殖污染的现状以及对耕地和水体的环境影响, 以为保山市制定畜禽养殖污染防控措施、实现农业绿色可持续发展提供理论和现实依据。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 数据获取

本研究的畜禽养殖数量、耕地数据、水资源总量来源于《保山统计年鉴2023》<sup>[2]</sup>公布的数据。

### 1.2 分析方法

#### 1.2.1 产污系数法

在未考虑饲养周期的前提下, 采用以下计算公式计算畜禽污染负荷产生量: 出/存栏量(头/只)×日产污系数(kg)×365(d)。本研究依据各养殖畜

禽种类的出栏时间和生长周期确定养殖数量。猪、家禽一般饲养期小于一年, 饲养量以当年出栏数计; 牛、羊一般当年不出栏, 年末存栏数视为当年的饲养量。其中, 各畜禽日产污系数来自全国污染普查资料 and 开展农业生产状况调查资料, 见表1。

表1 各类畜禽粪便日产污系数

| 类别        | 污染物                | 猪    | 牛    | 家禽   | 羊    |
|-----------|--------------------|------|------|------|------|
| 粪尿产生量(kg) | 粪                  | 2    | 15   | 0.12 | 1.23 |
|           | 尿                  | 3.3  | 10   | —    | 0.62 |
| 平均折纯值(g)  | TN                 | 5.7  | 42.6 | 0.3  | 3.1  |
|           | TP                 | 2    | 15.5 | 0.1  | 1.1  |
|           | COD                | 90   | 665  | 2    | 12   |
|           | NH <sub>3</sub> -N | 3.42 | 6.29 | 0.03 | 0.90 |

#### 1.2.2 等标污染负荷法

等标污染负荷是水污染评价中重要的评价指标, 它可以用来表征污染区域内污染源的潜在污染威胁水平。其评价方法是用评价因子的排放量除以区域内的评价因子限量标准, 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”。本研究采用等标污染符合法对保山市范围内的畜禽养殖污染进行污染评价, 评价因子选择TN, TP和COD。

污染物*i*的等标排放量为:

$$P_i = \frac{C_i}{C_0}$$

**作者简介:** 谢飞, 农艺师, 硕士研究生, 从事农业环境保护与环境影响评价方面的研究。Email: xiefei018@126.com

式中： $P_i$ — $i$ 污染物的等标排放量（ $10^6\text{m}^3/\text{a}$ ）； $C_i$ — $i$ 污染物流失量（ $\text{t}/\text{a}$ ）； $C_0$ —污染物按《地表水环境质量标准》（GB3838—2002）的Ⅲ类标准系列的阈浓度为（COD为 $20\text{mg}/\text{L}$ ，TN为 $1\text{mg}/\text{L}$ ，TP为 $0.2\text{mg}/\text{L}$ ）。

等标污染指数=某区域或某污染物等标排放量/该地区水资源总量（ $\text{亿m}^3$ ）

等标污染负荷比=某污染源或污染物等标排放量/区域内污染等标排放总量 $\times 100\%$

### 1.2.3 畜禽粪便污染物耕地负荷污染风险评价法

在国外，很多国家也将畜禽产生的粪便还田，把耕地作为畜禽粪便的消纳场所加以消化其中的养

分<sup>[3]</sup>。在畜禽粪便产生的污染物中最受关注的是氮和磷，因此，可以用畜禽养殖污染产生的氮、磷与区域内的耕地面积的比值来表征畜禽养殖污染对耕地土壤的潜在污染威胁。其计算公式为：

$$n=W/S=\sum X_i/S$$

式中， $n$ 为畜禽粪便氮、磷耕地负荷量（ $\text{kg}/\text{hm}^2$ ）； $W$ 为畜禽粪便的氮、磷总量（ $\text{kg}$ ）； $S$ 为耕地面积（ $\text{hm}^2$ ）； $X$ 为各类畜禽粪便氮、磷量（ $\text{kg}$ ）。

## 2 结果

### 2.1 畜禽养殖粪便污染物产生量

结合产污系数和统计资料可以计算得出2022年保山市畜禽养殖粪便污染物负荷，见表2。

表2 2022年保山市畜禽养殖污染负荷

| 类别  | 污染物产生量（t）  |            |           |          |         |                    |
|-----|------------|------------|-----------|----------|---------|--------------------|
|     | 粪便         | 尿液         | COD       | TN       | TP      | NH <sub>3</sub> -N |
| 隆阳区 | 1981728.09 | 1872435.51 | 78754.82  | 5486.76  | 1951.46 | 1756.20            |
| 施甸县 | 1280307.17 | 1416832.67 | 53116.66  | 3574.16  | 1267.59 | 1366.87            |
| 腾冲市 | 1549941.26 | 1554885.66 | 63089.39  | 4307.37  | 1530.45 | 1468.51            |
| 龙陵县 | 1055481.15 | 831646.50  | 42938.62  | 2949.82  | 1061.72 | 682.88             |
| 昌宁县 | 1639622.13 | 1680216.78 | 67400.88  | 4582.93  | 1633.27 | 1570.92            |
| 保山市 | 7507079.79 | 7356017.12 | 305300.38 | 20901.04 | 7444.50 | 6845.38            |

由表2可知，畜禽养殖粪便总量为750万t，尿液总量为735万2t。从污染物的产生区域来看，隆阳区畜禽粪便污染负荷总量占比为25.93%，为全市最高，龙陵县占比为12.73%，为全市最低，施甸县、腾冲市、昌宁县占比在18.13%—22.33%之间。从污染物的产生量来看，COD的产生量最高，占COD、TN、TP、NH<sub>3</sub>-N总产生量的89.66%，其次是TN占比6.14%，这是因为牛、猪的牲畜饲养数量多，个体产污系数大且粪便中有机物含量高，所以COD产生量大。

### 2.2 畜禽粪便对耕地的污染影响分析

保山市畜禽养殖业产生的畜禽粪便主要用作还田施肥，可以用单位耕地面积上的畜禽粪便污染物负荷量来评价耕地污染风险，根据1.2.3的计算公式，并结合表2中的2022年保山市的畜禽粪便产生量，可计算出畜禽粪便氮、磷耕地负荷，见表3。

表3 2022年保山市畜禽粪便氮、磷耕地负荷

| 区域  | TN（ $\text{kg}/\text{hm}^2$ ） | TP（ $\text{kg}/\text{hm}^2$ ） |
|-----|-------------------------------|-------------------------------|
| 隆阳区 | 73.96                         | 26.30                         |
| 施甸县 | 77.80                         | 27.59                         |
| 腾冲市 | 46.38                         | 16.48                         |
| 龙陵县 | 104.11                        | 37.47                         |
| 昌宁县 | 51.23                         | 18.26                         |
| 保山市 | 63.18                         | 22.50                         |

各县（市、区）和全市的氮、磷耕地负荷量是TN、TP污染负荷与各县（市、区）耕地面积、全市耕地面积之间的比值，由此可知，保山市畜禽粪便氮耕地负荷量为 $63.18\text{kg}/\text{hm}^2$ ，龙陵县的氮耕地负荷量最大为 $104.11\text{kg}/\text{hm}^2$ 。隆阳区、施甸县氮耕地负荷量均超过全市氮耕地负荷量，分别为 $73.96\text{kg}/\text{hm}^2$ 、

77.80kg/hm<sup>2</sup>。耕地每年施用氮的量在150-180kg/hm<sup>2</sup>之间较为适宜，欧盟农业政策有规定，粪肥每年施用的氮量的标准为 170 kg/hm<sup>2</sup>，高于该标准可能会超过土壤消纳能力，引起土壤环境污染。因此，氮对保山市耕地的污染在风险水平以下。

保山市畜禽粪便磷耕地负荷量为22.50kg/hm<sup>2</sup>，龙陵县的磷耕地负荷量最大为37.47kg/hm<sup>2</sup>，腾冲市的磷耕地负荷量最小为16.48kg/hm<sup>2</sup>，隆阳区和施甸县的磷耕地负荷均超过全市磷耕地负荷量，分别为26.30kg/hm<sup>2</sup>、27.59kg/hm<sup>2</sup>。磷素在农田中的移动性较差，粪肥每年施用的磷量标准为不能高于35kg/hm<sup>2</sup>，超过该标准可能会引起土壤磷的淋洗<sup>[4]</sup>。龙陵县磷耕地负荷超过了35kg/hm<sup>2</sup>，说明磷耕地存在污染风险。

### 2.3 畜禽粪便对水体的污染影响分析

根据等标污染负荷法，可以计算出保山市2022年畜禽粪污等标排放量，见表4。

表4 保山市畜禽粪污等标排放量 (×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>)

| 区域  | TN      | TP       | COD     |
|-----|---------|----------|---------|
| 隆阳区 | 1646.03 | 2927.19  | 1181.32 |
| 施甸县 | 1072.25 | 1901.38  | 796.75  |
| 腾冲市 | 1292.21 | 2295.68  | 946.34  |
| 龙陵县 | 884.95  | 1592.58  | 644.08  |
| 昌宁县 | 1374.88 | 2449.91  | 1011.01 |
| 保山市 | 6270.31 | 11166.75 | 4579.51 |

由表4可知，各区域畜禽粪污等标排放量从大到小依次为隆阳区、昌宁县、腾冲市、施甸县、龙陵县。隆阳区和昌宁县畜禽粪污等标排放量占比达到48.09%，接近全市的一半。TP的等标排放量最高，达到11166.75×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>，比TN和COD的总和还高。

有研究表明，畜禽养殖粪污产生的污染物通过降雨和地表径流进入水体的流失率在2%到8%之间，

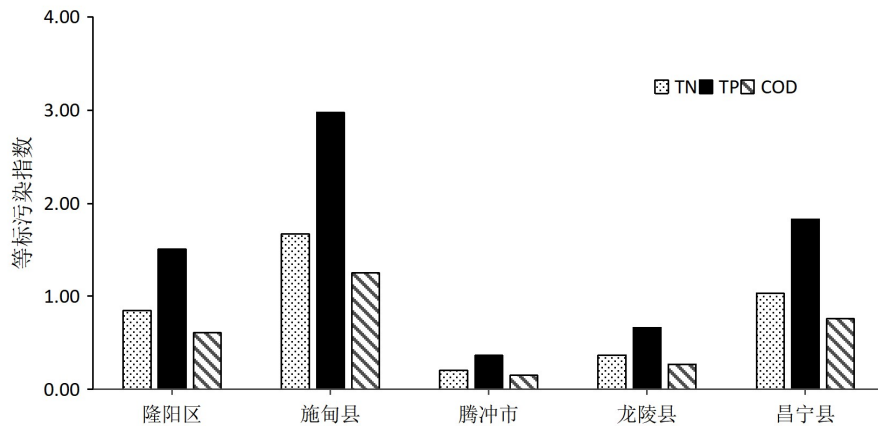


图1 保山市畜禽养殖业等标污染指数

如果是液体排泄物则可能会高达 50%<sup>[5]</sup>。综合来看，把保山市的畜禽粪便进入水体的流失率定为30%，再结合畜禽粪污等标排放量和水资源量，可以计算得到全市等标污染指数。

由图1可知，全市等标污染指数为2.90，从区域来看，施甸县的等标污染指数最高为5.90，是等标污染指数最低的腾冲市的8.2倍。施甸县的水资源量全市最小，腾冲市的水资源量全市最大，这表明施甸县水环境承载能力较弱，腾冲市较强。所以，施甸县畜禽养殖对水环境的污染风险最高。隆阳区和昌宁县的等标污染指数分别为2.96和3.62，均超过全市平均

值。从污染物来看，TN、TP、COD的等标污染指数分别为4.13、7.34、3.03，TP的等标污染指数超过TN的77%，超过COD的132%，说明畜禽粪便污染物中磷对水环境的污染威胁最大。虽然腾冲市和龙陵县等标污染指数均在全市平均值以下，但是在同一县区内，因为自然条件、水资源量、畜禽种类和养殖密度等会呈现差异性分布，对于局部的水环境问题应该引起重视。

### 2.4 畜禽粪污污染来源分析

用等标污染负荷比可以分析出区域内对水体影响的主要污染来源和污染物。结合表5可知，

猪、牛、羊、家禽的畜禽粪便污染物（COD、TN、TP）等标污染负荷比总计分别为39.78%、50.95%、3.01%、6.27%，牛的等标污染负荷比最高，是其他畜禽种类等标污染负荷比之和，占比第二高的是猪。由此可知，畜禽粪污对保山市水环境影响的主要污染源为牛产生的畜禽粪便污染物，猪产生的畜禽粪便污染物同样不可忽视。这和牛、猪个体污染物产排系数大，全市牛、猪养殖数量多密切相关。同时，COD、TN、TP的等标污染负荷比分别为20.8%、28.48%、50.72%，TP的等标污染负荷比最高，为主要污染源，与等标污染指数的分析结果一致，虽然TP的排放量不高，但是TP在《地表水环境质量标准》（GB3838—2002）的Ⅲ类标准系列的阈浓度最低，所以等标排放量高，对水环境污染威胁大。

表5 保山市畜禽粪污等标污染负荷比（%）

| 畜禽种类 | COD   | TN    | TP    |
|------|-------|-------|-------|
| 猪    | 8.86  | 11.22 | 19.69 |
| 牛    | 11.05 | 14.15 | 25.75 |
| 羊    | 0.20  | 1.01  | 1.80  |
| 家禽   | 0.70  | 2.09  | 3.48  |
| 合计   | 20.80 | 28.48 | 50.72 |

### 3 讨论

（1）本研究基于2022年云南保山市畜禽养殖数据和推荐的畜禽粪污产排系数计算出畜禽养殖污染负荷。从结果可以看出，各地区畜禽粪污产生量存在空间差异，隆阳区、腾冲市、昌宁县贡献了全市69.15%的畜禽粪污，因为这三个地区承载了全市69.04%的猪、65.93%的牛、67.78%的羊、75.23%的家禽。所以，不同地区的养殖数量和规模决定了区域间畜禽养殖污染产生量。在污染源分析中，牛是保山市的畜禽粪污主要污染来源，其次是猪。但是具体到各县区来看，龙陵县羊的TN、TP合计贡献率为6.33%，猪的TN、TP的合计贡献率为16.82%；而在施甸县羊的TN、TP合计贡献率仅为1.46%，猪的TN、TP合计贡献率高达52.09%。这是因为羊在龙陵县保有较大的养殖数量，虽然个体产污系数上羊低于猪，但是养殖数量的差距使羊的污染贡献显著上升，这表明不同区域的养殖结构和养殖产业发展同样会影响区域间的污染特征。

（2）本研究采用耕地氮肥、磷肥的年适宜施用分别为170kg/hm<sup>2</sup>和35kg/hm<sup>2</sup>的标准，此标准虽然为欧盟地区限值，但是在国内研究中，例如龚世飞等<sup>[6]</sup>、吴永胜等<sup>[7]</sup>、耿维等<sup>[8]</sup>都进行了应用，有比较成熟的参考依据。需要注意的是，国外在畜禽饲养方式、粪肥还田方式、作物种植模式、自然气候条件、土壤类型等方面与国内都有差异，下一步有必要对适合我国特别是滇西南地区氮肥、磷肥的适宜施用限值进行更深入的研究。

（3）研究结果表明，畜禽粪污对保山市耕地、水产生的环境影响整体处于较为理想的风险范围，但是在局部地区因为畜禽养殖种类和数量，产业发展布局等因素的影响，仍然存在污染风险。为了控制畜禽粪污污染风险水平，有必要根据各地区畜禽养殖种类、养殖规模、养殖结构、农业产业布局等多种因素因地制宜地制定防控技术政策和措施。一是，优化畜禽养殖的空间布局。坚持“以地定畜、以种定养”的原则，科学核定畜禽粪污耕地承载能力，确定畜禽养殖规模。合理规划畜禽养殖区域，避免污染周边环境，同时要保护生态环境，避免对生态系统的破坏。严格按照保山市畜禽养殖禁养区划定方案，宜禁则禁、宜减则减，禁养区内禁止建设畜禽养殖场、养殖小区。优化种植结构，重点发展高效循环农业，构建“粮经饲”协调发展的种植模式，促进种植业和养殖业在布局上相适应，在规模上相匹配，在产出相促进。二是，提高饲养管理水平。牛、猪因为个体产污系数大，且饲养具有一定规模，是畜禽粪污的主要污染来源。通过合理的饲喂，可以有效降低畜禽粪便污染物中的元素含量，从而减少污染物对环境的影响。根据畜禽不同生长期合理喂养配合饲料，在饲料中添加具有特定功能的营养物质，例如植酸酶、活性炭、微生物菌剂等，既可以达到去除臭味的效果，还可以促进畜禽的生长发育。王志康等<sup>[9]</sup>的研究表明育肥猪出栏4周前，添加低磷—植酸酶饲料，可以极显著降低猪粪中的磷，且对育肥猪生长性能无负面影响。毛江笛等<sup>[10]</sup>在饲料中添加了含有植酸酶的复合酶，对猪的采食量和日增重没有负面影响，且减少了排到体外的磷元素。三是，加强畜禽粪污处理设施建设。将畜禽粪污防治与农村人居环境整治、美丽乡村建设、爱国卫生运动、村庄清洁行动等工作有效衔接。根据

畜禽种类、环保要求、土地条件等因素选择占地面积小,处理效果好的户用小型畜禽粪污处理设施或设备,因地制宜建设固定的畜禽粪便贮存专用场地,指派农业科技人员指导畜禽养殖户采取诸如厌氧发酵、堆沤发酵等技术分解粪便中对作物不利的污染物进行无害化处理后利用,有效解决规模户、散养户养殖污染问题,减少畜禽粪污随意乱排乱放。四是,提升畜禽粪污资源化利用能力。以畜禽养殖废弃物资源化利用、减量化生产、无害化处理为重点,有效推进绿色种养循环项目、畜禽粪污资源化利用整县推进项目。指导规模养殖户建设必要的畜禽粪污处理利用配套设施,探索推进先进的畜禽粪污处理技术,例如厌氧消化、热压干化处理技术等能有效分解粪便中的污染物,提高肥料利用率。推广先进的现代化养殖技术,例如添加微生物制剂、控制畜禽密度、使用不同种类的生物发酵剂等可有效减少粪便中有害成分的含量。

#### 4 结论

(1) 2022年保山市畜禽养殖粪便污染负荷,隆阳区产生量占比为25.93%,为全市最高;COD的产生量最大,占比为89.66%。

(2) 保山市各县(市、区)畜禽粪便氮耕地负荷均在限量值 $170\text{kg}/\text{hm}^2$ 以下,氮对耕地的污染在风险水平以下。龙陵县磷耕地负荷为 $37.47\text{kg}/\text{hm}^2$ ,存在污染风险。

(3) 施甸县的等标污染指数最高为5.90,对水环境的污染威胁最大;畜禽粪便污染物中磷对水环境的污染威胁最大;畜禽粪污的主要污染来源为牛、其次是猪。

#### 参考文献

- [1] 龚世飞,肖能武,丁武汉,等.基于耕地承载力的十堰市畜禽养殖环境风险评价[J].中国农业科学,2023,56(5):920-934.
- [2] 保山统计局.保山统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2022.

- [3] Hoar B R, Atwill E R, Farver T B, et al. Estimating maximum possible environmental loading amounts of cryptosporidium parvum attributable to adult beef cattle[J]. Quantitative Microbiology, 2000, 2(1):21-36.
- [4] Oenema O, van Liere L, Plette S, et al. Environmental effects of manure policy options in The Netherlands[J]. Water Science and Technology, 2004, 49(3):101-108.
- [5] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等.中国农业面源污染形势估计及控制对策I. 21世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J].中国农业科学,2004,37(7):1008-1017.
- [6] 龚世飞,丁武汉,肖能武,等.丹江口水库核心水源区典型流域农业面源污染特征[J].农业环境科学学报,2019,38(12):2816-2825.
- [7] 吴永胜,孙越鸿,杨雪,等.基于种养平衡的成都市畜禽养殖环境效应分析[J].中国农业资源与区划,2018,39(1):195-203.
- [8] 耿维,胡林,崔建宇,等.中国区域畜禽粪便能源潜力及总量控制研究[J].农业工程学报,2013,29(1):171-179+295.
- [9] 王志康,熊云霞,侯磊,等.低微量元素低磷-植酸酶饲料对育肥猪生长性能、肉品质和粪便重金属元素含量的影响[J].动物营养学报,2022,34(4):2196-2207.
- [10] 毛江笛,唐仁龙,王翀,等.降低饲料氮或/和磷含量并添加复合酶对生长猪生长性能、养分消化率和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2019,31(6):2597-2604.