

# 畜禽养殖区磷流失对水环境的影响及其防治措施

曾悦<sup>1,2</sup>, 洪华生<sup>1</sup>, 陈伟琪<sup>1</sup>, 郑 (1. 厦门大学 国家教育部海洋环境科学重点实验室/厦门大学 环境科学研究中心, 福建 厦门 361005; 2. 福建省闽江学院 化学与化工系, 福建 福州 350011; 3. 福建省环境保护局, 福建 福州 350003)

**摘要:** 概述了畜禽养殖废物中磷的流失对水环境的影响, 分析养殖废物中磷的来源和流失途径, 并从保护水资源的角度提出减少畜禽粪便中磷流失的管理和控制措施。

**关键词:** 畜禽养殖; 富营养化; 磷; 废弃物; 水环境

**中图分类号:** S821.4<sup>+</sup>6; X713; X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5906(2004)03-0077-04

**Impact of phosphorus loss on water environment in intensive livestock rearing areas and the countermeasures.** ZENG Yue<sup>1,2</sup>, HONG Huasheng<sup>1</sup>, CHEN Weiqi<sup>1</sup>, ZHENG Yu<sup>3</sup> (1. Key Laboratory of Marine Environment Science of Ministry of Education/ Environmental Science Research Center of Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Department of Chemistry, Fujian Minjiang University, Fuzhou 350011, China; 3. Fujian Environmental Protection Bureau, Fuzhou 350003, China). *Rural Eco-Environment*, 2004, 20(3): 77-80

**Abstract:** Impacts of the phosphorus loss from livestock waste on water environment were reviewed, and sources and pathways of the loss of phosphorus from livestock waste were analyzed. On such a basis, some countermeasures for management and control of the phosphorus loss were raised from the angle of protecting the water resources.

**Key words:** livestock; eutrophication; phosphorus; waste; water environment

水体加速富营养化是目前全球普遍存在的环境问题。富营养化的水体中含有大量藻类和其他水生生物, 生物死亡分解释放有毒物质并造成水体缺氧, 使整个水体生态环境遭到破坏, 丧失应有的功能, 人也会因食用含毒水产品而致中毒。磷是引起水体富营养化的重要因子之一。研究表明, 水体磷浓度在  $30 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 藻类便急剧繁殖, 造成水体富营养化<sup>[1]</sup>。天然水体中磷的来源很广泛, 畜禽养殖场废物是磷的重要来源之一。

## 1 畜禽养殖业废物中磷的流失

### 1.1 磷污染的主要来源

磷是动物骨骼的重要组成成分, 参与体内许多生化反应, 是动物生长发育所必需的矿物质元素之一。日粮中磷不足会导致畜禽生产性能下降、胴体品质下降、死亡率增加等。日粮中植物饲料磷的 60%~80% 是以植酸磷(又称六磷酸肌醇或六磷酸环己酯)的形式存在, 大麦、小麦、玉米和豆类的胚中植酸磷含量更高。植酸磷必须在动物消化道中经水解才能被吸收利用, 但畜禽水解植酸的能力很弱, 对植酸磷的利用率相当低(大多低于 40%~50%)<sup>[2]</sup>, 因此, 为满足畜禽生长对磷的需要, 必须人为地在日粮中添加无机磷。由于未消化的磷大部分随粪便排出体外(表 1), 包括大量的植酸磷、植物中的非植酸磷、未被消化的动物性和矿物性磷等<sup>[3]</sup>。养殖场冲洗圈舍时, 含磷粪便被冲洗出舍外。废水中磷的浓度因粪便处置方式的不同也有较大差异<sup>[4]</sup>。畜禽对饲料中磷的利用率较低, 不仅造成磷资源的浪费, 还可能引起严重的

环境污染。

表 1 畜禽鲜粪、尿产量及其磷含量<sup>[2]</sup>

Table 1 Amount of feces and urine from livestock and their phosphorus contents

畜禽种类	鲜粪		鲜尿	
	产量/ [kg·d <sup>-1</sup> ·头(只) <sup>-1</sup> ]	磷含量/ %	产量/ [L·d <sup>-1</sup> ·头(只) <sup>-1</sup> ]	磷含量/ %
牛	25.0	0.25	10.0	0.03
马	15.0	0.30	7.5	0.05
羊	2.0	0.30	0.7	0.10
猪	3.0	0.40	3.5	0.12
鸡	0.1	1.54		

### 1.2 磷的流失途径

在高密度畜禽饲养区, 进入水体的磷根据其来源可分为点源污染和非点源污染。点源污染主要指规模化、集约化的畜禽养殖场集中排放进入水体的污水, 包括饲养圈舍的冲洗水、青贮饲料间的渗滤液、储粪池以及生化塘的污水等。非点源污染则是大范围分散污染, 包括作为肥料返田的畜禽粪便和畜禽养殖场污水污染, 放牧饲养的牲畜粪尿和分散养殖区任意排放的污水污染(图 1)。

基金项目: 福建省重大科技项目(2002H009)

收稿日期: 2003-07-29

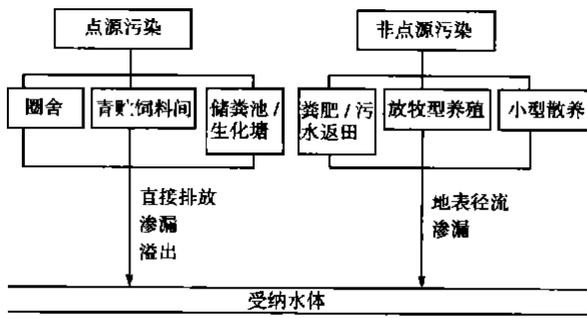


图1 养殖业发达地区畜禽养殖废水中磷的流失方式

Fig.1 Pathways of phosphorus from livestock waste into water in the intensive livestock rearing areas

### 1.2.1 点源污染

养殖业造成的点源污染比较易于识别和控制,但污染事故却频频发生,原因多是管理者监督不力和饲养者管理不善。比如,在我国,养殖业造成的环境污染多是由养殖污水直接排放造成的。一些养殖场为图取水和冲洗便利,把圈舍建在河(江、溪)边,未经处理的养殖污水直接排入河道,造成大量氮、磷养分流失。养殖场中还存在一些较容易被饲养者和管理者忽视的污染隐患,即养殖场的储粪池、生化塘或氧化塘等污染储存或处理设施,若深度和容量不够,大雨时粪尿以及尚未净化完全的污水便随雨水一起溢出,造成地表水体污染。

此外,点源污染也可能污染地下水。美国明尼苏达州污染控制局2000年开展了不同类型储粪设施对地下水影响的研究,研究对象是砂壤地区使用20 a左右的储粪设施。结果表明,距离储粪池50 m(15.25 m)以外的地下水磷含量仍较高,以砂壤土衬底的储粪池更明显,其附近地下水中磷含量最高,可超过 $7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [5]。

### 1.2.2 非点源污染

粪肥还田、放牧养殖及分散养殖,是造成养殖业非点源污染的3种类型。粪肥还田造成的养分流失是农业非点源污染研究中最受关注的一个问题。

**1.2.2.1 磷随地表径流流失** 磷以可溶态和颗粒态形式随地表径流迁移,而以后者为主[6]。模拟试验证明,在特定的土壤和降雨径流条件下,颗粒态磷占磷流失总量的80%以上[7]。磷的径流流失量与土地利用、管理措施、土壤质地、施肥时间和频次等有密切关系。在砂质土壤的畜禽养殖发达地区,河流中磷浓度达到 $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 是很常见的,该浓度高于正常农田排水的10倍以上[8]。

畜禽粪便是很好的农田肥料,经腐熟后施用,可满足作物对N、P、K的需求,既可减少化肥用量,又能消纳粪便。但集约化、规模化畜禽养殖场密集分布地区,产生的粪便大大超过本地农田的消纳容量,加上粪便运输受距离的限制。因此,畜禽粪便大多集中在养殖场附近有限的农田,导致大量

磷累积在土壤中。另一方面,由于粪便中养分NP的平均比例(4:1)低于作物吸收的NP比例(8:1),如果根据作物对N的需求施肥,就会造成P的过量。长期施用将会造成土壤中磷盈余并积聚在土壤表层。美国南部平原由于长期施用猪粪和鸡粪,导致表层土壤(0—50 cm)磷和氮含量分别增加4倍和5倍[9]。加拿大和新西兰也发现施用畜禽粪肥造成土壤表层(0—15 cm)磷的积累[10]。由于耕作层土壤处于富磷的状态,在降雨冲刷和农田排水的情况下就会加速磷向水体迁移。家禽和生猪集中饲养区域磷过量是造成土壤中磷积累的原因,土壤磷的盈余又加大磷随径流流失的可能性[11—12]。不同土壤条件、耕作制度和农田管理水平下的模拟试验都证明,土壤尤其是表层土壤的速效磷水平与径流中各种形态磷的含量呈显著相关关系[13—14]。

**1.2.2.2 磷通过渗漏作用流失** 磷在土壤中以扩散的方式迁移, $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 离子的扩散系数相当于 $\text{NO}_3^-$ 的0.1%或0.01%,故磷较难进入地下水。如果地下水中磷的含量高,说明水已被污染。磷在水体中的存在形式主要是各种形态的磷酸根,具有毒性,对人体的危害主要表现在损伤神经系统[15]。过去虽然人们意识到畜禽粪便可能污染地下水,但研究多集中在危害性较明显的硝酸盐和病菌,忽视磷对地下水的污染。在畜禽饲养密度高的地区,由于长期大量施用畜禽粪肥,土壤中磷过饱和并向下游迁移,使其通过农田排水系统渗漏的风险增大,这种通过人工排水系统造成的磷流失与地表径流磷流失是磷流失的2个主要途径[14]。美国乔治亚州的研究表明,施用畜禽粪便的土壤磷的渗漏量大于未施用畜禽粪便的土壤,该州地下水和地表水中硝酸和磷酸污染主要是农田过量施用畜禽粪便所致[12]。与地表流失磷不同的是,下渗的磷形态为可溶性磷[6]。磷渗滤的能力因土壤类型而异。砂质土壤比细质矿土下渗能力强,可能是因为砂质土壤吸收磷的能力明显较弱的缘故[14]。当土壤有机质含量较高时,流失的磷以有机磷为主[17]。

由于非点源污染在时空上无法定点监测,其排放时间、途径以及污染物排放量难以确定,因此粪便随地表径流和农田排水造成的水环境污染成为畜禽粪便管理中最难评估和控制的污染类型,必须加强研究。

## 2 畜禽养殖造成的磷污染及防治

自20世纪50年代起,发达国家开始大规模发展集约化养殖,在城镇郊区建立集约化畜禽养殖场。集约化畜禽养殖场排放大量的粪便和污水难以处理和利用,造成了严重的环境污染。但是,人们关注的大多是恶臭、病菌和硝酸盐的影响。直到近年来,水体富营养化问题的日益突出使人们关注到农业中磷的流失问题。不少研究表明,农田施用畜禽粪便造成的磷流失是农业非点源污染的重要组成部分。欧洲发达国家的地表水中,农业排磷占总磷污染负荷的24%~71%[18];美国中部地区进入河流总氮的37%和总磷的65%来自畜禽粪便。为此,各国相继采取措施,防止畜禽污水污

染水资源。挪威于1970年颁发“水污染法”,环保部于1973、1977和1980年颁布了许多法规,规定在封冻和积雪覆盖的土地上禁止倾倒任何畜禽粪肥,禁止畜禽污水排入河流。20世纪80年代初期,养殖业发达的荷兰认识到畜禽粪便污染与富营养化的问题,1987年规定应根据 $1\text{ hm}^2$ 农田中磷酸盐含量确定畜禽粪便最大施用量<sup>[19]</sup>。英国于1987年颁布水清洁法案,控制畜禽粪便流失<sup>[19-20]</sup>。

我国的规模化畜禽养殖起步较晚。20世纪70年代中期以前,由于畜禽饲养量少,加上养殖业和种植业结合,粪便污染问题尚未显现。但20世纪80年代以后,由于生活水平提高和“菜篮子”工程的实施,养殖业迅速发展,各大主要城市相继出现畜禽养殖污染问题,包括磷引起的富营养化问题。20世纪90年代初,杭州湾污染调查结果第一次向人们敲响畜禽粪便污染的警钟。该研究发现,在各类污染源中畜禽粪便对杭州湾总磷的贡献率最大且呈上升趋势<sup>[21]</sup>。2002年国家环境保护总局调查显示,我国畜禽饲养规模呈扩大趋势,对环境影响较大的大中型畜禽养殖场80%集中在人口密集、水系发达的东部沿海地区和大城市周围。例如,上海市郊区非点源污染综合调查表明:各种污染源中畜禽粪尿磷的排放值最高,占非点源污染磷总量的39.23%,畜禽粪便污染成为上海郊区最主要的污染源<sup>[22]</sup>。李荣刚等在江苏太湖地区水污染物排放的研究中发现,磷排放量最高的是畜禽粪尿,在 $\text{COD}_\text{Cr}$ 、TP、TN等污染物中,总磷对水体的污染最严重<sup>[23]</sup>。郑武等对广州市畜牧业废水排放情况进行了分析,与《农田灌溉水质标准》比较,广州市畜牧业废水各污染物的污染指数( $\text{COD}_\text{Cr}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、TP、TN、SS)全部超标,其中总磷超标28.4倍。北京市规模化畜禽养殖场污染调查证实,北京养猪场的污染物排放量占全市养殖业污染物排放总量的97%,而养猪场中又以水冲粪方式排放量最多,这种方式排放的废水中总磷浓度( $32.1\sim 293\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )远大于《畜禽养殖业污染物排放标准》规定的限值( $8.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )<sup>[4]</sup>。为减少和控制养殖业污染排放,2000年以来我国相继颁布实施了《畜禽养殖污染防治管理办法》、《畜禽养殖业污染防治技术规范》和《畜禽养殖业污染物排放标准》,使养殖业污染治理逐步走上规范化和法制化道路。

### 3 减少畜禽粪便磷污染的管理措施

虽然氮、磷都是藻类生长的主要因子,但由于许多藻类还能够从大气中获取氮,因此在畜禽养殖区控制水华和水体富营养化的关键就是减少畜禽废物磷的排放。在畜禽养殖密集地区,粪便中磷对水体污染具有点源污染和非点源污染的双重特征。因此必须根据其特点,采取针对性的管理措施以减少危害。

#### 3.1 提高畜禽对饲料磷的吸收

养殖场在配制畜禽日粮时应考虑磷的平衡,即饲料中的磷与畜禽生长所需的磷应相当,从源头减少磷的流失。在减少动物粪便中磷的含量方面,最重要的就是提高动物对植酸

磷的吸收。目前,这方面研究大多集中在植酸酶的开发和利用上。植酸酶是降解植物性饲料中植酸及其盐类的一种酯酶,它可将植酸磷分解成正磷酸和其他磷酸肌醇的中间代谢产物,从而提高畜禽对磷的吸收利用率。研究表明,在畜禽日粮中添加植酸酶等酶制剂,可提高谷物和油料作物饼粕中植酸磷的利用率,降低畜禽粪便中磷的含量。在荷兰,植酸酶已被广泛应用,植酸酶可使日粮中磷的消化率达到65%以上。除了在饲料中添加植酸酶的方法外,有关学者还在研究培育能利用高磷含量的玉米或植酸酶含量高的植物以及内源植酸酶含量高的畜禽品种。

#### 3.2 加强畜禽饲养场管理

首先,要加强规划。要制定区域畜禽产业发展规划,并划定养殖业禁建区、禁养区,根据环境容量合理确定畜禽养殖业发展的区域和规模。例如,畜禽养殖业发达的上海郊区就制定了解决畜禽粪便污染的整体规划,以较少的投资获得较大的环境、社会和经济效益<sup>[24]</sup>。

其次,对新建养殖场要执行环境影响评价,以及畜禽粪便综合利用、污水治理和养殖场的设施同时设计、同时施工、同时投入使用的三同时制度,从源头控制污染的产生。

第三,按照循环经济理念,提高资源利用率。减少畜禽养殖场磷流失的重要途径就是将废水中的磷在场内消化,为此养殖场可自成一个小型的农业生态系统,比如我国的猪-沼-果、猪-沼-菜、猪-沼-鱼等生态农业模式,可将大部分磷在场内消化利用,实现废水达标排放甚至零排放。

第四,加强畜禽养殖场的污染管理。目前,在饲养场管理方面,发达国家和地区已制定许多法律法规。例如,日本和美国要求新建大中型畜牧场应经过审批;日本提出粪尿应经过净化处理<sup>[25]</sup>;芬兰提出新建养殖场要有粪便处理设施等。我国政府也制订了有关管理规定和制度,比如福建省发布《九龙江流域水污染防治与生态保护办法》,在流域内划定“畜禽养殖禁建区”,严禁在九龙江两岸新建养殖场等。但从目前养殖业污染现状看,相关法律法规还有待进一步完善,环境监管还要进一步加强。要通过建立污水处理设施或进入污水管网统一处理等措施,加强污染治理,防止超标排污。同时,饲养者必须加强对易发生泄漏和渗漏的储粪池及饲料间的管理。储粪池和生化塘应远离饮用水源并避开水道,防止由于雨水、洪水的流入而引起粪便溢出;要进行防渗处理,防止污染地下水;要有合理的储存容量。在畜禽养殖场废弃时,储粪池和生化塘残留的粪尿仍存在磷流失的潜在危险,必须做好善后工作,同时向有关管理部门报告。

#### 3.3 加强畜禽粪便返田的养分管理

畜禽粪便还田是实现废物资源化利用的有效方式。为减少农田土壤中畜禽粪肥返田造成的磷氮流失,畜禽场饲养规模必须与周围农田消纳粪便的能力相适应。应对施肥区的土壤、作物和粪肥进行养分分析,注意粪肥的施用频次、时间和方法,避免过量施用,减少磷在土壤表层的积累。同时,还必须注意天气状况,避免降雨前施肥,减少磷随径流流失。

此外,还可以在粪便中添加与磷结合的化学物质,如硫酸铝和硫酸铁。研究表明,经硫酸铝和硫酸铁处理的畜禽粪便返田后,径流中磷浓度可分别减少87%和63%<sup>[26]</sup>。

### 3.4 加强畜禽粪便返田的政策扶持

一些发达国家在出台畜禽粪便资源化利用政策的同时,也非常强调畜禽粪便在农业生产中的利用。畜禽粪尿价格极低,可作为生产有机肥的主要原料,变废为宝。但经过各种方法处理后不可能像其他建设项目那样产生很大的经济效益,一旦处理成本超过了用户的承受能力,粪便资源化的政策就难以贯彻。因此,政府应采取适当的经济补助或技术支持,以减少饲养者的处理费用。在饲养高密度区畜禽粪便量必然会超过该区域的土地消纳量,政府应当给予经济资助促其运往外地。

畜禽粪便污染防治处理除了加强各项管理外,还必须要有科研力量的支持,包括对粪便污染的机理以及防治技术的研究等。此外,公众参与也是加强养殖污染治理的重要环节,只有饲养者的环境意识提高了,才会积极地配合管理者并主动采取各种手段,减少磷以及其他养分的流失。

### 参考文献:

- [1] Smith VH, Tilman GD, Nekola JC. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine and terrestrial ecosystems[J]. *Environmental Pollution*, 1999, 100(1-3): 179-196
- [2] 中国农业大学. 家畜粪便学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1997
- [3] 李同洲, 张英杰. 猪饲料手册[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001
- [4] 徐谦, 宋桂珍, 何俐云. 北京市规模化畜禽养殖场污染防治与对策研究[J]. *农村生态环境*, 2002, 18(2): 24-28
- [5] Minnesota Pollution Control Agency. Ground water quality adjacent to animal feedlots [EB/OL]. <http://www.pca.state.mn.us/publications/wq-f1-05.pdf>/2003-02-27
- [6] Sharpley AN, Menzel RG. The impact of soil fertilizer phosphorus on the environment[J]. *Adv Agron*, 1987, 41: 297-324
- [7] 晏维金, 尹澄清, 孙濮. 等. 磷氮在水田湿地中的迁移转化及径流流失过程[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(3): 312-316
- [8] Uunk EJB. Eutrophication of surface waters and the contribution of agriculture[R]. Proceedings No. 303. London: The Fertilizer Society, 1991: 1-55
- [9] Daniel TC, Sharpley AN, Stewart SJ, et al. Environmental impact of animal manure management in the southern plains[R]. Presented at the International Summer Meeting, 20-23 June, Spokane, Washington. Paper No. 934011. American Society of Agriculture Engineers, 1993
- [10] Hooda PS, Truesdale VW, Edwards AC, et al. Manuring and fertilization effects on phosphorus accumulation in soils and potential environmental

implications[J]. *Advances in Environmental Research*, 2001, 5(1): 13-21

- [11] Sims JT, Simard RR, Joem BC. Phosphorus loss in agricultural drainage: historical perspective and current research[J]. *J Environ Qual*, 1998, 27(2): 277-293
- [12] Vervoort RW, Radcliffe DE, Cabrera ML, et al. Nutrient losses in surface and subsurface flow from pasture applied poultry litter and composted poultry litter[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1998, 50(1-3): 287-290
- [13] Pote DH, Daniel TC, Nichols DJ, et al. Relationship between phosphorus levels in three ultisols and phosphorus concentrations in runoff[J]. *J Environ Qual*, 1999, 28(1): 170-175
- [14] Sims JT. Phosphorus soil testing: innovation for water quality protection[J]. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 1998, 29(11-14): 1471-1489
- [15] 李昌静, 卫钟鼎. 地下水水质及其污染[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983
- [16] Hooda PS, Moynagh M, Svoboda IF, et al. Phosphorus loss in drainflow from intensively managed grassland soils[J]. *J Environ Qual*, 1999; 28(4): 1235-1242
- [17] Lucero DW, Martens DC, McKenna JR, et al. Accumulation and movement of phosphorus from poultry litter application on a starr clay loam[J]. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 1995, 26: 1709-1718
- [18] 高超, 张桃林. 欧洲国家控制农业养分污染水环境的管理措施[J]. *农村生态环境*, 1999, 15(2): 50-53
- [19] Edwards AC, Withers PJA. Soil phosphorus management and water quality: a UK perspective[J]. *Soil Use and Management*, 1998, 14(Suppl): 124-130
- [20] Smith KA, Chalmers AG, Chambers BJ, et al. Organic manure phosphorus accumulation, mobility and management[J]. *Soil Use and Management*, 1998, 14(Suppl): 154-159
- [21] 杨朝飞. 加强畜禽粪便污染防治迫在眉睫[J]. *环境保护*, 2001(2): 32-35
- [22] 张大第, 张晓红, 章家骥, 等. 上海市郊区非点源污染综合调查评价[J]. *上海农业学报*, 1997, 13(1): 31-36
- [23] 李荣刚, 夏源陵, 吴安之, 等. 江苏太湖地区水污染物及其向水体的排放量[J]. *湖泊科学*, 2000, 12(2): 147-153
- [24] 徐润霖, 金林生, 江立方, 等. 上海市应尽快制定解决畜禽粪便污染的整体规划[J]. *家畜生态*, 1996, 17(1): 45-48
- [25] 江立方, 周松卿, 杨自立, 等. 发达国家和地区畜禽粪便污染防治立法的现状[J]. *家畜生态*, 1995, 16(2): 44-49
- [26] Shreve BR, Moore PA Jr, Daniel TC, et al. Reduction of phosphorus in runoff from field applied poultry litter using chemical amendments[J]. *J Environ Qual*, 1995, 24: 106-111

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。