

我国畜禽生产体系中磷素平衡及其环境效应

许俊香^{1,2}, 刘晓利¹, 王方浩², 张福锁², 马文奇^{1*}, 马 林¹

(1. 河北农业大学资源与环境科学学院, 河北 保定 071001; 2 教育部植物-土壤相互作用重点实验室, 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘要: 通过畜禽生产体系磷素的实际流动过程——磷素输入和磷素输出, 计算了畜禽生产体系磷素的去向, 包括畜禽活体磷素去向, 不同养殖方式粪尿磷素去向; 并对畜禽粪尿回田、排入环境等状况进行了评价。结果表明, 从动物体磷分配来说, 畜禽活体带出的磷大部分分配在骨中, 肉猪骨中的磷素占活体带出磷的 71.5%, 肉鸡骨中的磷素占活体带出磷的 71.1%, 肉牛骨中的磷素占活体带出磷的 71.6%。计算还表明: 蛋鸡和肉猪生产体系对环境造成的污染风险相对其他畜禽生产体系来说最大, 中国 2001 年蛋鸡生产体系向环境排放磷量为 30.8 万 t, 占猪牛鸡向环境排放总磷量的 43.0%; 肉猪生产体系向环境排放磷量为 15.3 万 t, 占猪牛鸡向环境排放总磷量的 21.3%。还对未来畜禽发展规模以及降低污染提出了一些建议。

关键词: 畜禽生产; 磷素去向; 环境效应

文章编号: 1000-0933(2005)11-2911-08 **中图分类号:** S157 **文献标识码:** A

Phosphorus balance and environmental effect of animal production in China

XU Jun-Xiang^{1,2}, LIU Xiao-Li¹, WANG Fang-Hao², ZHANG Fu-Suo², MA Wen-Qi^{1*}, MA Lin¹ (1. College of Resources and Environmental Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding, 071001, China; 2. Key Laboratory of Plant-Soil Interactions, MOE, College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing, 100094, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 2911~ 2918

Abstract: Phosphorus is not only an essential nutritional element for plants and animals, but it is also a significant factor in environmental pollution. Understanding phosphorus flow and balance in animal husbandry systems is very important for nutrient management on both a regional and national scale. Numerous research programs are underway to reduce pollution from animal excreta in North American and European countries such as the Netherlands, USA, Canada, Germany, Denmark, as well as in some countries of Africa. In China research about nutrient pollution from animal excreta is very limited but this work is still very valuable.

In this paper, Phosphorus flow and balance in animal husbandry systems is summarized. The study was focused on the P flow, balance and fate in a pig production system, a cattle production system, and in a fowl production system. Phosphorus flow, balance and fate in animal production systems were calculated based on actual inputs and outputs. The input included the animal feed, and the outputs included both the animal production and the animal excreta. The fate of phosphorus in such animal production systems includes mainly the phosphorus retained in the animals body as well as the fate of the phosphorus contained in the animal excreta. The utilization of excreta was evaluated according to the ratio of excreta to farm land and to the environment, etc.

This research indicated that the total P output from the pig, cattle and fowl production systems used was 2729kt. This

基金项目: 国家农业部 948 资助项目(2003-Z53)

收稿日期: 2005-01-17; **修订日期:** 2005-09-08

作者简介: 许俊香(1977~)女, 河北滦县人, 硕士生, 主要从事磷素循环及平衡研究. E-mail: xujx100@sohu.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: mawq@mail.hebau.edu.cn

致谢: 感谢 Dr. G.B. Havenstein (North Carolina State University) 教授帮助润色英文摘要和 Dr. J.D. Toth (University of Pennsylvania) 教授帮助修改图表英文。

Foundation item: "948" project from Ministry of Agriculture (No: 2003-Z53)

Received date: 2005-01-17; **Accepted date:** 2005-09-08

Biography: XU Jun-Xiang, Master, mainly engaged in phosphorus cycling and balance of China. E-mail: xujx100@sohu.com

included 490kt P that was in the edible and inedible parts of the animal's body. The remainder (2230kt) was contained in the animal excreta. The transition efficiency from the feed was very low (only 18.3%). Most of the P in the animal's bodies was in the bones. According to calculations made, the P ratios ($[\text{bone P} / \text{total body P}] \times 100$) in the bones of pigs, meat chickens, and meat cows were 71.5%, 71.1% and 71.6%, respectively. The total amount of P in the manure of pigs, cows and fow l was 2230kt in 2001, of which 717kt was estimated as being lost to the environment. The research results also indicated that the laying hen and pig systems contribute the most to environmental risk, with the amount of P going into the environment being 308kt for layers and 153kt for pigs, which contributed 43.0% and 21.3% of the total P going into the environment, respectively. Suggestions were also proposed on developing large scale animal production facilities with ways to decrease pollution in the future.

Key words: animal production; phosphorus fate; environmental effect

近几年,随着畜牧业的发展,尤其是“菜篮子”工程实施以来,集约化、规模化养殖迅速崛起,成为主要发展趋势。我国现有集约化畜禽养殖场近万个,由于60%的畜禽养殖场未采取干湿分离(粪便与尿、冲洗水)的清洁工艺^[1],因此这些养殖场每天要排放大量的畜禽粪便及冲洗混合污水,据测算,一个万头猪场每年可排放粪尿及冲洗污水6~7万t^[2],对环境造成了污染。据报道,全国只有少数养殖场对粪污进行处理并综合利用,仅不足3%的粪污在排放前经无害化处理^[3],就连粪污处理力较强的北京、上海和深圳,其处理量也只占排放总量的5%左右^[2]。养殖场的粪污绝大部分就近排入水渠汇入河道或渗入地下,污染水体和土壤。而磷是粪尿中比较重要的养分,伴随着粪尿磷素也随之排放到环境中,导致环境污染。

由畜牧养殖所导致的环境污染已引起全球的关注。美国、荷兰等国家采用养分综合管理措施来减轻或消除磷素污染并制定了相关法律法规^[4,5]。如果累积的磷含量超过了法律规定的最大允许值,则要征税^[5]。荷兰通过养分平衡分析法计算出农场磷素输入量大于磷素输出量,每年每公顷盈余32kg纯磷^[6]。对于我国,畜牧生产体系磷素养分平衡、磷素去向以及粪尿磷对环境的影响未见报道。为此,本文采用养分流动分析的方法,以2001年全国猪、牛、鸡生产为例,比较分析了我国几种主要动物生产体系磷素流动与平衡状况以及粪尿磷对环境的影响。

1 研究方法

根据动物生产特点,建立畜牧生产体系磷素输入输出框架(图1)。

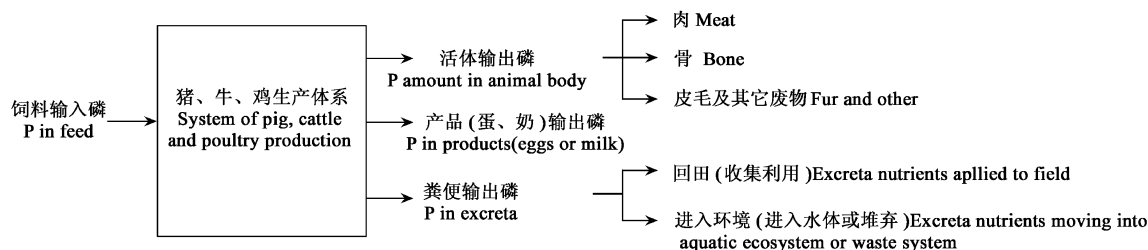


图1 畜牧生产体系磷素输入输出模式

Fig. 1 The model of phosphorus flow in animal production systems in China

在畜禽生产体系中,输入项主要是饲料磷;而输出项包括肉用动物活体输出磷、动物产品(蛋、奶)带出磷以及动物排泄磷。受文献资料的限制,难以获得某种动物的实际饲料投入量,因此不能根据饲料数量计算畜禽生产体系的磷素输入量,为此,本文依据我国现行的畜禽饲养标准和畜禽饲养量进行折算。在养分输出中,动物活体磷的去向主要分成肉、骨以及其它部位3部分;粪尿中磷的去向则包括回田的磷和进入环境的磷,考虑到我国畜禽饲养方式差别很大,而且不同的饲养方式粪尿收集利用率不同,因而本文在计算粪尿磷素去向时,分为农户饲养、中小型养殖场饲养、大型养殖场饲养3种方式。猪、牛、鸡活体磷含量,蛋、奶磷含量以及粪尿磷含量分别

表1 畜禽及其产品磷素含量

| Table 1 P content in animal body and animal products | | | |
|--|--------------|----------------------|----------------------------|
| 项目 Items | 动物 Animal | 磷含量 P content | 文献来源 Literature sources |
| 活体 Animal body | 猪 Pig | 460g/100kg 猪 pig | [8] |
| | 牛 Cattle | 3600g/600kg 牛 cattle | [8] |
| | 鸡 Poultry | 13kg/2kg 鸡 fowl | [8] |
| 粪尿 excreta | 猪 Pig | 0.074% | [9] |
| | 牛 Cattle | 0.059% | [9] |
| | 鸡 Poultry | 0.413% | [9] |
| 产品 Animal products | 鸡蛋 Eggs | 219mg/100g | [10] |
| | 牛奶 Milk | 0.093% | [11] |

来源于相关文献(表 1)。畜禽年出栏量以及存栏量来源于《中国畜牧业年鉴·2002》^[7]。

2 结果与分析

2.1 养猪生产体系磷素流动与平衡

2.1.1 磷的输入 1 头猪从出生到出栏, 饲养日龄一般为 170~ 180d。猪的饲养期分为 5 个饲养阶段, 不同的饲养阶段, 对磷的需求量不同, 根据《现代养猪生产》^[12]饲养标准, 可计算出 1 头猪在饲养期内所需饲料磷为 1229.8g; 2001 年我国肉猪出栏数为 54936.7 万头^[7]; 由此可推算出我国肉猪生产中磷的输入量为 67.6 万 t。

2.1.2 磷的输出

(1) 转入活体肉猪平均出栏活体重为 95~ 100kg^[13, 14], 一般体重 100kg 的猪, 总磷量为 460g^[8]; 由此可算出 2001 年我国肉猪活体带出的磷为 25.3 万 t。根据长白猪的分割比例以及各部分磷含量可以计算出各部分的磷量以及各部分所占比例(表 2), 从而可知猪的磷素生产效率。由表 2 可知, 猪活体带出的磷大部分分配在骨中, 占总磷量的 72%; 分配在肉中的磷只占 23%。

表 2 猪分割比例、各部分磷含量以及各部分磷量

| Table 2 Slaughtering ratio, P content and P amount of pig | | | | | |
|---|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 部位 Part | 分割比例 1/% Slaughtering ratio 1 | 分割比例 2/% Slaughtering ratio 2 | 磷含量 P content | 磷量 P amount (10 ⁴ t) | 各部分所占 比例/% Ratio (%) |
| 肉 Meat | 63 ^[15] | 50 | 0.172% ^[10] | 5.9 | 23.3 |
| 骨 Bone | 10 ^[15] | 14 | 330g/100kg 猪 ^[8] | 18.1 | 71.5 |
| 其它 Other | 27 | 36 | 0.07% | 1.3 | 5.1 |

注释: 对分割比例 1 和分割比例 2 的说明: 因为长白猪是我国常见猪种, 因而采用长白猪的分割比例 1。The slaughtering ratio 1 was used in this paper because this breed of pig is the main type in China

(2) 转入排泄物 植物性饲料中 60%~ 80% 的磷以植酸磷的形式存在, 而单胃动物体内缺少分解植酸的酶, 因而磷的利用率很低^[17], 猪食入的磷有 80%~ 85% 以粪尿形式排放到环境中^[18, 19]。猪日排泄粪尿量为 6 kg^[20, 21], 饲养期以 180d 计算, 则共排泄粪尿 1080 kg。《中国有机肥料养分志》报道, 猪 180 d 的排泄量为 1710 kg, 与 1080 kg 相差很多, 综合各类文献, 计算过程采用了较低的值 1080 kg。粪尿磷含量为 0.074%^[9], 由此可计算出 2001 年猪排泄磷 43.9 万 t。在我国, 由于畜禽饲养方式不同, 因而粪尿收集利用率不同, 致使粪尿磷的去向不同。根据《中国畜牧业年鉴·2002》中的养猪头数^[7]、饲养期粪尿产生量、粪尿磷含量、粪尿收集利用率以及冲洗排放比例可计算出收集利用的磷和向环境排放的磷(表 3)。

表 3 养猪生产体系不同养殖方式粪尿磷的去向

| Table 3 Fate of P in excreta in pig production systems | | | | |
|--|--|---|--|--|
| 养殖方式 Type of production facility | 出栏数(万头) Number of animals(10 ⁴) | 排泄量(kg/(头·a))Amount of manure per year | 粪尿磷的去向* (万 t) P fate in excreta(10 ⁴ t) | |
| | | | 回田 P amount applied to field | 进入环境 P amount lost into environment |
| 农户饲养 Household | 40814 | 1080 | 24.5 | 8.2 |
| 中小型养殖 Small to medium | 9142 | 1080 | 2.2 | 5.1 |
| 大型养殖 Large | 4981 | 1080 | 2.0 | 2.0 |
| 总计 Total | | | 28.7 | 15.3 |

* 根据专家建议, 不同养殖方式粪尿回田率分别按农户饲养 75%、中小型养殖 30% 和大型养殖 50% 计算, 其余认为是进入环境。According to expert's advice, the ratio of manure back to field was 75%, 35% and 50% for household breeding, small and medium animal farms and large animal farms, respectively. Remainder was considered as input to environment

2.1.3 环境效应 由表 3 可知, 全国养猪生产体系粪尿磷回田量为 28.7 万 t, 占猪总排泄磷的 65.4%; 排放到环境中的粪尿磷为 15.3 万 t, 占猪排泄粪尿磷的 34.6%, 占猪生产体系总输出磷的 22%。

2.2 肉鸡生产体系磷素流动与平衡

2.2.1 磷的输入 肉鸡和蛋鸡饲养期不同, 且饲养标准不同, 因而对磷营养的需求不一样。肉鸡饲养期一般 50~ 60d 左右, 根据《肉鸡生产手册》中的饲养标准^[22], 可计算出 1 只肉鸡从出生到出栏所需的饲料磷为 28.8g。2001 年, 我国肉鸡出栏量 647067.84 万只^[7], 则所需的总磷量为 18.6 万 t。

2.2.2 磷的输出

(1) 转入活体 体重 2kg 的鸡, 总磷量为 13g^[8]; 再根据出栏数可计算出 2001 年肉鸡活体带出的磷为 8.4 万 t。肉鸡屠宰比例、各部分磷含量以及磷量见表 4, 由此可计算出肉鸡的磷素生产效率。由表 4 可知, 从磷营养角度来说, 肉鸡生产效率不高, 71.1% 的磷分配在骨骼中, 而肉中的磷只占 19.3%。

(2) 转入排泄物 鸡与猪同属单胃动物, 因而对植物性饲料中的磷利用率很低, 鸡食入的磷约有 2/3 以粪尿形式被

排出体外^[27]。1 只肉鸡平均每天排泄粪 0.09~ 0.13kg^[3, 20, 28]。本文采用了较低数值 0.09kg^[20], 饲养期按 50d 计算共排泄粪便 4.5kg, 粪便磷含量为 0.413%^[9], 则 1 只肉鸡从出生到出栏(饲养期)所排泄的磷为 18.6g。可计算出 2001 年肉鸡排泄粪尿磷量为 12.0 万 t。根据肉鸡出栏数、粪便排泄量、粪中磷含量以及粪便去向比例可计算出收集利用的磷和向环境排放的磷(表 5)。

2.2.3 环境效应 考虑粪尿对环境的污染,表 5 表明 2001 年我国肉鸡生产体系向环境排放磷为 5.1 万 t, 占肉鸡排泄总磷的 42.5%, 占肉鸡生产体系总输出磷的 25%。

表 5 肉鸡生产体系粪便磷素去向

Table 5 Fate of P in excreta in broiler poultry production systems

| 养殖方式 Type of production facility | 出栏数(万头) Number of animals(10 ⁴) | 排泄量(kg/(只·a)) Amount of manure per year | 粪尿磷的去向*(万 t) P fate in excreta(10 ⁴ t) | |
|-------------------------------------|--|--|---|-------------------------------------|
| | | | 回田 P amount applied to field | 进入环境 P amount lost into environment |
| 农户饲养 Household | 355042 | 4.5 | 4.6 | 2.0 |
| 中小型养殖 Small to medium | 235789 | 4.5 | 1.8 | 2.6 |
| 大型养殖 Large | 56237 | 4.5 | 0.5 | 0.5 |
| 总计 Total | | | 6.9 | 5.1 |

* 根据专家建议,不同养殖方式粪尿回田率分别按农户饲养 70%、中小型养殖 40% 和大型养殖 50% 计算,其余认为是进入环境 According to expert's advice, the ratio of manure back to field was 70%, 40% and 50% for household breeding, small and medium animal farms and large animal farms, respectively. Remainder was considered as input to environment

2 3 蛋鸡生产体系磷素流动与平衡

2.3.1 磷的输入 蛋鸡饲养分为生长期和产蛋期饲养。根据《家禽饲料手册》和《现代实用养鸡技术》中的饲养标准^[29, 30], 计算出 1 只蛋鸡对磷的年需求量为 179.8g。2001 年, 蛋鸡存栏量 391080.48 万只^[7], 则蛋鸡所需磷为 70.3 万 t。

2.3.2 磷的输出

(1) 转入产品——鸡蛋 2001 年我国禽蛋产量 2336.73 万 t^[31], 鸡蛋约占 4/5, 鸡蛋磷含量为 219mg/100g 可食部分^[10], 则鸡蛋中总磷量为 4.1 万 t。

(2) 转入排泄物 蛋鸡日排泄粪 0.14~ 0.16kg^[20, 28]。本文采用较低排泄量 0.14kg, 饲养期按照 1a 来计算, 则年平均排泄粪量为 51kg; 再根据粪中磷含量 0.413%^[9], 可计算出 1 只蛋鸡年排泄磷 210.6g, 则 2001 年我国蛋鸡排泄粪尿磷为 82.4 万 t。根据存栏数、排泄量、粪便磷含量以及粪尿去向的比例可计算出收集利用的磷和向环境排放的磷(表 6)。

2.3.3 环境效应 只考虑粪尿排泄的环境效应,表 6 表明蛋鸡生产体系通过冲洗或堆弃排放到环境中的磷为 30.8 万 t, 占蛋鸡排泄总磷的 37.4%, 占蛋鸡生产体系总输出磷的 35.6%。

表 6 蛋鸡生产体系粪便磷素去向

Table 6 Fate of P in excreta in layer poultry production systems

| 养殖方式 Type of production facility | 存栏数(万头) Number of animals(10 ⁴ head) | 排泄量(kg/(只·a)) Amount of manure per year | 粪尿磷的去向*(万 t) P fate in excreta(10 ⁴ t) | |
|-------------------------------------|--|--|---|-------------------------------------|
| | | | 回田 P amount applied to field | 进入环境 P amount lost into environment |
| 农户饲养 Household | 290396 | 51 | 42.8 | 18.3 |
| 中小型养殖 Small to medium | 86686 | 51 | 7.3 | 11.0 |
| 大型养殖 Large | 13998 | 51 | 1.5 | 1.5 |
| 总计 Total | | | 51.6 | 30.8 |

* 根据专家建议,不同养殖方式粪尿回田率分别按农户饲养 70%、中小型养殖 40% 和大型养殖 50% 计算,其余认为是进入环境 According to expert's advice, the ratio of manure used for field was 70%, 40% and 50% for household breeding, small and medium animal farms and large animal farms, respectively. Remainder was considered as input to environment

2 4 肉牛、黄牛和水牛生产体系磷素流动与平衡

本文在计算养牛生产体系磷素输入输出量时,按照其不同用途分为肉牛、黄牛、水牛和奶牛。肉牛、黄牛和水牛磷素输入量采用相同的饲养标准。

2.4.1 磷的输入 肉牛生长期分为犊牛期,0~ 6 月龄,约 180d; 生长期,6~ 10 月龄,约 120d; 肥育期,10~ 14 月龄,约 60d。根

据《肉牛的饲料与饲养》中的饲养标准^[32]可计算出 1 头肉牛年需磷量为 5.1kg。2001 年全国肉牛出栏量 4118.4 万头,黄牛和水牛存栏量为 11795.4 万头^[7],由此可计算出全国肉牛磷营养需要量 21.2 万 t,黄牛和水牛磷营养需要量为 60.2 万 t。

2.4.2 磷的输出

(1) 转入活体 体重 600kg 的牛总磷量为 3600g^[8]。肉牛平均屠宰体重为 450kg^[33],则其体内总磷量为 2700g。2001 年我国肉牛出栏数为 4118.4 万头,可计算出全国肉牛以活体形式输出的磷约为 11.1 万 t。肉牛分割比例,各部分磷含量以及磷量见表 7,并由此计算出各部分磷占活体的比重。由表 7 知,肉牛活体带出的磷大部分分配在骨中,约 71.6%,而肉中的磷只占到 11.9%,可见肉牛的生产效率很低。

(2) 转入排泄物 肉牛在不同生长阶段,日排泄量不同。犊牛期平均日排泄量为 8.5kg,育成牛平均日排泄量为 22.5kg,成牛平均日排泄量为 41kg^[28]。根据日排泄量以及各时期的生长天数可计算出 1 头肉牛年排泄粪尿量为 6895kg。《家畜粪便学》报道育成牛年排泄粪尿 8200kg,成牛年排泄量还要高约 15500kg,都与 6895kg 相差很多,本文采用了较低的值 6895kg。粪尿中磷含量为 0.059%^[9],则 1 头肉牛年排泄磷 4.1kg,由此可计算出 2001 年全国肉牛年排泄磷为 16.8 万 t。黄牛和水牛年排泄粪尿量 8703kg^[9],粪尿中磷含量与肉牛粪尿相同,则 1 头黄牛或水牛年排泄磷量为 5.1kg,根据年存栏数可计算出 2001 年我国黄牛和水牛排泄磷 60.6 万 t。根据肉牛出栏数、年排泄量、粪尿磷含量以及粪尿去向比例可计算出收集利用的粪尿磷和向环境排放的磷(表 8)。

表 7 肉牛分割比例、各部分磷含量以及磷量
Table 7 Slaughtering ratio, P content and P amount of beef cattle

| 部位 Part | 各部分所 占比例(%) Slaughtering ratio | 磷含量 (%) P content | 磷量(万 t) P amount (10 ⁴ t) | 各部分所 占比例(%) Ratio (%) |
|------------|---|-------------------------|--|-----------------------------|
| 肉 Meat | 40 ^[34-36] | 0.171 ^[10] | 1.3 | 11.9 |
| 骨 Bone | 10 ^[34-36] | 4.2 ^[43] | 7.8 | 71.6 |
| 其它 Other | 50 | 0.18 | 1.816.5 | 16.5 |

表 8 肉牛、黄牛、水牛生产体系粪尿磷素的去向
Table 8 Fate of P in excreta in cattle production systems

| 养殖方式 Type of production facility | 出栏数(存栏数) (万头)Number of animals(10 ⁴) | 排泄量(kg/(头·a)) Amount of manure per year | 磷素各去向的数量*(万 t) P fate in excrete | |
|-------------------------------------|--|---|---|--|
| | | | 回田 P amount applied to field (10 ⁴ t) | 进入环境 P amount lost into environment (10 ⁴ t) |
| 肉牛 Cattle: 农户饲养 Household | 3391 | 6895 | 10.3 | 3.4 |
| 中小型养殖 Small to medium | 696 | 6895 | 1.1 | 1.7 |
| 大型养殖 Large | 31 | 6895 | 0.1 | 0.1 |
| 肉牛小计 Cattle Total | | | 11.5 | 5.2 |
| 黄牛和水牛 Buffalo | 11795 | 8703 | 48.5 | 12.1 |

* 根据专家建议,肉牛不同养殖方式粪尿回田率分别按农户饲养 75%、中小型养殖 40% 和大型养殖 50%,黄牛按 80% 计算,其余认为是进入了环境 According to expert's advice, the ratio of cattle manure used for field was 75%, 40% and 50% for household breeding, small and medium animal farms and large animal farms, respectively and that of buffalo was 80%. Remainder was considered as input to environment

2.4.3 环境效应 肉牛生产体系向环境排放粪尿磷为 5.2 万 t,只考虑粪尿排泄的环境效应,向环境排放的磷占肉牛排泄总磷量的 31% (表 8)。

2.5 奶牛生产体系磷素流动与平衡

2.5.1 磷的输入 奶牛平均体重 600kg,平均产奶量为 20kg/天^[37]。根据《奶牛磷需要量及其对环境的影响》中的饲养标准^[38],可计算出 1 头奶牛 1a 所需的磷为 20.2kg。2001 年全国奶牛存栏量为 566.2 万头^[7],则奶牛对磷营养的需要量约为 11.5 万 t。

2.5.2 磷的输出

(1) 转入牛奶 2001 年,牛奶产量为 1025.5 万 t^[31],牛奶磷含量为 0.093%^[11],则奶牛通过牛奶输出的磷约为 1.0 万 t。

(2) 转入排泄物 体重 500~ 600kg 的奶牛年排泄量为 21900kg^[28],粪尿中磷含量为 0.059%^[9],可计算出一头奶牛年排泄磷 12.9kg,则 2001 年全国奶牛排泄磷 7.3 万 t。根据奶牛存栏数、年排泄量、粪尿磷含量以及粪尿去向比例可计算出收集利用的粪尿磷和向环境排放的磷(表 9)。

2.5.3 环境效应 奶牛生产体系向环境排放的磷为 3.2 万 t,占奶牛排泄总磷的 43.2% (表 9)。

3 讨论

3.1 养分流的不确定性

在畜禽生产中,因为不能获得某种动物的实际饲料投入量,因此也就不能准确计算出各畜禽实际输入的磷量,所以本文在计算磷素养分输入量时采用了我国现行的畜禽饲养标准和畜禽饲养量来折算。畜禽饲养标准可能与实际生产过程中磷的输入量有出入。

表9 奶牛生产体系粪尿磷素去向

Table 9 Fate of P in excreta in milk cow production systems

| 养殖方式 Type of production facility | 存栏数(万头) Number of animals(10^4) | 排泄量(kg/(头·a)) Amount of manure per year | 磷素各去向的数量*(万 t) P fate in excrete(10^4 t) | |
|-------------------------------------|--|--|---|-------------------------------------|
| | | | 回田 P amount applied to field | 进入环境 P amount lost into environment |
| 农户饲养 Household | 254 | 21900 | 2.5 | 0.8 |
| 中小型养殖 Small to medium | 282 | 21900 | 11.5 | 2.2 |
| 大型养殖 Large | 31 | 21900 | 0.2 | 0.2 |
| 总计 Total | | | 4.2 | 3.2 |

* 根据专家建议,不同养殖方式粪尿回田率分别按农户饲养 75%、中小型养殖 40% 和大型养殖 50% 计算,其余认为是进入了环境。According to expert's advice, the ratio of manure used for field was 75%, 40% and 50% for household breeding, small and medium animal farms and large animal farms, respectively. Remainder was considered as input to environment.

计算畜禽活体磷素去向过程中,各种畜禽的肉产量可以从年鉴中查到,但是并没有采用,而是采用了由活体乘以出肉率的方法推算而得,主要是考虑到统计年鉴中肉产量比实际偏高^[39],会给计算结果造成更大误差。

在计算猪活体磷的去向时,其中肉和骨磷的含量可以参考相关文献,而内脏及毛皮的平均磷含量没有文献参考,因而根据专家建议估计了一个值,为 0.07%,使猪活体中的磷近似等于各去向之和。

计算肉鸡活体磷的去向时,其中肉、骨及内脏的磷含量可以查到文献,而羽毛磷含量没有文献可参考,因而采用了羽毛粉的磷含量来代替。计算出四部分的磷量之和约等于肉鸡活体,所选参数比较准确。

计算肉牛活体磷素去向时,其中肉、骨磷含量可以查到文献,而其他部分的平均磷含量没有文献可参考,因而估了一个值,使各部分磷量之和约等于整体磷含量。

蛋鸡生产体系磷输入量小于磷输出量,原因可能是在按照饲养标准计算磷素输入量时,只考虑了生长 1a 的鸡,没有考虑到生长 2a 甚至更长年龄,而且生长两年的蛋鸡要比生长 1a 的蛋鸡对磷的需求量高,从而使计算的磷输入量偏小。抑或是实际生产中,饲喂的饲料磷超过蛋鸡需要量,过多的磷被排出体外,从而使按饲养标准计算的输入量小于实际的输出量。

奶牛生产过程中磷输入量大于磷输出量,其原因可能是在饲养标准中,对日粮磷需要量的估计比奶牛实际需要量高,Harland 的研究支持此结果^[40]。

3.2 动物生产体系磷素的去向

动物生产体系磷素去向包括活体输出和粪尿输出。2001 年猪牛鸡生产体系磷素总输出量为 272.9 万 t,其中转入动物体和产品的磷为 49.9 万 t,而进入粪尿的磷为 223.0 万 t。由此可见,畜禽食入的饲料磷其转化效率很低,只有 18.3% 的磷转入到畜禽体和产品中去。

3.3 畜禽生产对环境的影响

2001 年猪、牛、鸡共排泄磷 223.0 万 t,但必须指出的是:在计算畜禽年排泄量时,所采用的排泄量大都是相关文献中较低的值,也就是说猪牛鸡排泄的磷量 223.0 万 t 是很保守的。猪、牛、鸡生产体系排放到环境中的磷为 71.7 万 t,占猪牛鸡排泄总磷量的 32.2%,这一数字接近我国 2001 年化肥投入磷(P)^[31]的 15%,可能超过了化肥对环境负荷的贡献。养猪生产体系向环境排放磷 15.3 万 t,占猪排泄总磷量的 34.9%,这一比例很接近邢光熏估算的比例 35%^[41]。说明对不同饲养方式向环境排放比例的估计接近实际生产。养猪、肉鸡、蛋鸡、肉牛、黄牛水牛和奶牛生产体系向环境排放的粪尿磷量占猪牛鸡向环境排放总磷量的比例分别为 21.3%、7.1%、43.0%、7.3%、16.9% 和 4.5%。由此可见,蛋鸡生产体系向环境排放磷最多,其次是养猪生产体系,二者对环境造成的污染贡献比例很大。因而从环境污染意义上来讲,在未来规划畜牧业发展规模时,应该重点加强蛋鸡和肉猪生产中磷素养分的管理,以减少其对环境的污染风险。同时,还需要从营养角度来降低污染,如提高畜禽对饲料磷的利用率,减少排泄磷量;同时,要加强对粪尿的养分综合管理,使粪便作为资源而被有效地利用,而不是污染环境。

References

- [1] Feng T. The harmless disposal project for excrete of large-scale cattle farm in North China. *China Milk Cow*, 2003, 1: 49~50.
- [2] Guo C H, Wu X L. Decrease Pig Farm Dung, Ensure Pig Production Continuable Development. *Sichuan Animal Veterinary Sciences*, 2003, 6: 30~32.
- [3] Jing Y W, Li J, Pan A J. Sewage control of animal production and utilization of excrete. *Beijing Water Conservancy*, 1998, 6: 37~41.
- [4] Oenema O. Governmental policies and measures regulating nitrogen and phosphorus from animal manure in European agriculture. *Policies Regulating Animal Manure in Europe*, 2003: E196~E206.

- [5] Neeteson J J. Nitrogen and phosphorus management on Dutch dairy farms: legislation and strategies employed to meet the regulations *Biol Fertil Soils*, 2000, **30**: 566~ 572
- [6] Aarts H F M, Habekott ~~EB~~, Keulen H van. Phosphorus(P) management in the 'De Marke' dairy farming system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2000, **56**: 219~ 229
- [7] Editorial Department of China Animal Husbandry Yearbook. *China Animal Husbandry Yearbook*. Beijing: China Agricultural Press, 2002
- [8] Huo Q G. *Animal phosphorus nutrition and resource*. Beijing: China Press of Agricultural Science and Technology, 2002
- [9] Service Centre of National Agricultural Technological Popularization. *Records of Nutrients in Organic Fertilizer in China*. Beijing: China Agricultural Press, 1999
- [10] <http://www.chinafeedbank.com.cn>
- [11] Pan H Z. *What's the function of phosphorus in human body*. Beijing: People's Educational Press, 2003
- [12] Chen Q M, Wang L C. *Modern pig production*. Beijing: China Agricultural University Press, 1997
- [13] Liu P Q, Zhang Q L. The fattening performance of Qianbei blank pig, *China Animal Journal*, 1997, **33**(1): 24~ 25
- [14] Chen P, Wu J Q. The raising and managing point for Sanyuan pig, *Zhejiang Animal and Veterinary Sciences*, 1998, **4**: 44
- [15] Zhan Y X, Zeng L P. The comparing to slaughtering performance among Britain long white pig, American long white pig and xindanxi pig, *Zhejiang Animal and Veterinary Sciences*, 2001, **2**: 1~ 3
- [16] Bao S Y. The fattening comparing experiment of xiang pig, *Guizhou Animal and Veterinary Sciences*, 1995, **19**(3): 12~ 13
- [17] Ma Q, Liu F J and Zhou H L. The pollution of animal excret and the measure for nutritional adjustment and controlling *Henan Agricultural Sciences*, 2003, **4**: 40~ 42
- [18] Wu H D, Yao H, Xiong X W. The utilization of phytase in pig production. *Jiangxi Animal and Veterinary Journal*, 1999, **3**: 39~ 40
- [19] Zhou J C, Liu Y S. Summarize for excrete management in animal husbandry farm. *Liaoning Animal and Veterinary Sciences*, 1999, **1**: 42~ 43
- [20] China Agricultural University. *Excrement and urine studying of domestic animals*. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 1997
- [21] Li B L, Wang K J. Research and advice for the problem of excrete in large—scale intensive pig farm. *Rural Energy*, 1997, **4**: 27~ 29
- [22] Shan Y L, Huang R L. *Handbook of meat chick production*. Beijing: China Agricultural University Press, 2003
- [23] College Agronomy of Nanjing. *Physiology of domestic animals*. Beijing: China Agricultural Press, 1987
- [24] Nutritional Sub—Section of China Association of Cooking. *The first nutrition*. Beijing: Beijing Press, 2004
- [25] Feng D Y, Wu X L. The reasonable use of unconventional feed. *Guangdong feed*, 2001, **10**(4): 8~ 10
- [26] Yang Q M, Diao Y X. *Handbook of raising meat chick*. Beijing: China Agricultural University Press, 1999
- [27] Xie X D, Feng Y L, Dong Z Y. Effect of phytase on growth performance of broiler and utilization ratio of Ca, P, Zn. *Fujian journal of Agricultural Sciences*, 2002, **17**(1): 45~ 48
- [28] Zhun S Y, Wang T. The disposal technique of sewage in animal husbandry farm. *Gansu Animal and Veterinary*, 1997, **6**: 37~ 39
- [29] Zhang Y J, Yue Q. *Handbook of fowls feed*. Beijing: China Agricultural University Press, 2001. 168~ 169
- [30] Ning Z H. *The modern technique of raising chick*. Beijing: China Agricultural Press, 2001
- [31] National Bureau of Statistics of China. *China Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistical Press, 2002
- [32] Wang J Q. *Feed and raising of meat cow*. Beijing: Literary Press of Science and technology, 2000
- [33] Jing H W. Type of fattening, demand for feed and productive performance of different meat cow variety, *Feed Prospect*, 2004, **5**: 53
- [34] Hou W Q, Yang X M, Zheng G F. Intensified Fattening and Slaughtering Experiment of Jinnan Cattle. *Journal of Yellow Cattle Science*, 2000, **26**(2): 23~ 31
- [35] Ge C R, Tian Y B, Chen T. Slaughtering Performance of Main Cattle Breeds in Yunnan. *Journal of Yellow Cattle Science*, 1998, **24**(2): 30~ 34
- [36] Lou Y W, Xi D T and Wu Z Y. The report of slaughtering experiment about high quality meat cow. *Jiangxi Animal and Veterinary Journal*, 2000, **5**: 8~ 10
- [37] Shuang J. Factors effecting on milk yield of milch cow in a shed. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 1998, **9**: 7~ 10
- [38] Hu L. Phosphorus amount needed by milch cow and effecting on environment. *Animal Science Abstract*, 2001, **28**(2): 5~ 8
- [39] Jiang N H. The theory and methods for adjusting statistic datum of meat yield in countrywide and every province. *Agricultural Technological Economy*, 2002, **6**: 12~ 20
- [40] Liu C S. Estimation again for phosphorus amount needed by ruminants, *China Milch Cow*, 2004, **1**: 31~ 33
- [41] Xing G X, Yan X Y. Direct nitrous oxid emissions from agricultural fields in China estimated by the revised 1996 IPPC guidelines for

national greenhouse gases *Environmental Science & Policy*, 1999, 2(3): 355~ 361.

[42] Deng H Y, Gao W W, Wang B. The use of waste for meat fowl *Meat Industry*, 2003, 4: 10~ 14

[43] Li T C, Suo Y R. Characteristic of Mineral Elements in Tibetan Medicine Yak 's Bone *Guandong Trace Element Science*, 2002, 9(4): 53 ~ 55

参考文献:

- [1] 冯涛. 华北地区大型养牛场粪便无害化处理方案. *中国奶牛*, 2003, 1: 49~ 50
- [2] 郭春华, 伍喜林. 减少猪场粪水污染 保证养猪业可持续发展. *四川畜牧兽医*, 2003, 6: 30~ 32
- [3] 井艳文, 李军, 潘安君. 畜禽养殖业污水控制与粪污资源化利用. *北京水利*, 1998, 6: 37~ 41.
- [7] 中国畜牧业年鉴编辑委员会. *中国畜牧业年鉴*. 北京: 中国农业出版社, 2002
- [8] 霍启光. *动物磷营养与磷源*. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002
- [9] 全国农业技术推广服务中心编著. *中国有机肥料养分志*. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [10] 国家饲料数据中心网 <http://www.chinafeedbank.com.cn/>
- [11] 潘鸿章. *磷在人体中有什么功能*. 北京: 人民教育出版社, 2003
- [12] 陈清名, 王连纯. *现代养猪生产*. 北京: 中国农业大学出版社, 1997.
- [13] 刘培琼, 张启林. 黔北黑猪的肥育性能. *中国畜牧杂志*, 1997, 33(1): 24~ 25
- [14] 陈平, 吴健全. 三元杂种猪的饲养管理要点. *浙江畜牧兽医*, 1998, 4: 44
- [15] 詹应祥, 曾乐平. 英、美、新丹系长白猪的屠宰性能比较. *浙江畜牧兽医*, 2001, 2: 1~ 3
- [16] 鲍思永. 香猪育肥对比试验. *贵州畜牧兽医*, 1995, 19(3): 12~ 13
- [17] 马强, 刘付玖, 周华林. 畜禽粪尿污染与营养调控措施刍议. *河南农业科学*, 2003, 4: 40~ 42
- [18] 吴华东, 姚红, 熊小文. 植酸酶在养猪生产上的应用. *江西畜牧兽医杂志*, 1999, 3: 39~ 40
- [19] 周锦成, 刘永生. 畜禽饲养场粪污治理概述. *辽宁畜牧兽医*, 1999, 1: 42~ 43
- [20] 中国农业大学, 上海市农业广播电视学校, 华南农业大学. *家畜粪便学*. 上海: 上海交通大学出版社, 1997.
- [21] 李宝林, 王凯军. 大型集约化猪场粪尿问题研究综述及建议. *农村能源*, 1997, 4: 27~ 29.
- [22] 单永利, 黄仁录. *现代肉鸡生产手册*. 北京: 中国农业大学出版社, 2003
- [23] 南京农学院. *家畜生理学*. 北京: 中国农业出版社, 1987.
- [24] 中国烹饪协会美食营养专业委员会. *第一营养*. 北京: 北京出版社, 2004
- [25] 冯定远, 吴新连. 非常规饲料原料的合理使用(下). *广东饲料*, 2001, 10(4): 8~ 10
- [26] 扬全明, 刁有祥. *肉鸡饲养手册*. 北京: 中国农业大学出版社, 1999
- [27] 谢新东, 冯玉兰, 董志岩. 植酸酶对肉仔鸡(公鸡)生长性能和钙、磷、锌利用率的影响. *福建农业学报*, 2002, 17(1): 45~ 48
- [28] 朱善元, 王涛. 畜禽饲养场污水净化处理技术. *甘肃畜牧兽医*, 1997, 6: 37~ 39.
- [29] 张英杰, 月琴. *家禽饲料手册*. 北京: 中国农业大学出版社, 2001. 168~ 169.
- [30] 宁中华. *现代实用养鸡技术*. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [31] 中华人民共和国国家统计局编. *中国统计年鉴*. 北京: 中国统计出版社, 2002
- [32] 王加启. *肉牛的饲料与饲养*. 北京: 科学技术文献出版社, 2000
- [33] 敬红文. 肉牛品种和育肥方式、饲料要求及生产性能. *饲料博览*, 2004, 5: 53
- [34] 侯万泉, 杨效民, 郑根福. 晋南牛强度肥育试验及屠宰测定. *黄牛杂志*, 2000, 26(2): 23~ 31.
- [35] 葛长荣, 田允波, 陈韬. 云南主要地方牛种的屠宰性能研究. *黄牛杂志*, 1998, 24(2): 30~ 34
- [36] 娄佑武, 裴大堂, 吴志勇. 优质肉牛屠宰试验报告. *江西畜牧兽医杂志*, 2000, 5: 8~ 10
- [37] 双金. 固定舍饲养条件下影响奶牛产奶量的因素. *黑龙江畜牧兽医*, 1998, 9: 7~ 10
- [38] Satter L D 等著, 胡伶摘译. 奶牛磷需要量及其对环境的影响. *国外畜牧科技*, 2001, 28(2): 5~ 8
- [39] 蒋乃华. 全国及分省肉类产品统计数据调整的理论和方法. *农业技术经济*, 2002, 6: 12~ 20
- [40] Harland 博士著, 刘春生译. 反刍动物磷需要量的重估. *中国奶牛*, 2004, 1: 31~ 33
- [42] 邓海燕, 高薇薇, 王斌, 等. 肉鸡加工废弃物的开发利用. *肉类工业*, 2003, 4: 10~ 14
- [43] 李天才, 索有瑞. 藏药牦牛骨主要矿物质元素及其特征. *广东微量元素科学*, 2002, 9(4): 53~ 55