

4 种畜禽粪中磷的形态与有效性研究

吴崇书¹, 张丽², 章明奎^{2*}

(1. 淳安县农业技术推广中心植保土肥站, 浙江淳安 311700; 2. 浙江大学环境与资源学院, 浙江杭州 310058)

摘要 [目的] 为了解规模化养殖场产生的畜禽粪便中磷的生物有效性。[方法] 对采自杭州市规模化养殖场的牛粪、猪粪、鸭粪和鸡粪等 4 种畜禽粪的 12 个样品中磷进行化学形态分析。[结果] 磷素含量大小一般是猪粪 > 鸡粪 > 鸭粪 > 牛粪; 畜禽粪中磷主要以可提取态形式存在, 无机态比例较高。规模化养殖场畜禽粪中磷的水溶性和生物有效性均高于 3 种无机磷肥, 说明畜禽粪中的磷有较高的生物有效性和流失风险。[结论] 在利用畜禽粪改良土壤时, 应根据其磷素含量和有效性高低, 控制施用量, 防止磷素在农田土壤中过量积累和产生农业面源污染。

关键词 畜禽粪; 磷; 化学形态; 有效性

中图分类号 S158 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)01-071-02

Chemical Forms and Availability of Phosphorus in Four Animal Manures

WU Chong-shu¹, ZHANG Li², ZHANG Ming-kui^{2*} (1. Chun'an Plant Protection and Soil Fertilizer Station, Chun'an, Zhejiang 311700; 2. College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310058)

Abstract [Objective] In order to understand the bio-availability of phosphorus in animal manures produced by large-scale livestock and poultry farms. [Method] 12 livestock and poultry manure samples, included cow manure, pig manure, chicken manure, and duck manure, were collected from large-scale farms of Hangzhou region for characterizing the chemical forms of phosphorus. [Result] The results showed that total P content in the manures decreased in the order of pig manure > chicken manure > duck manure > cow manure. Phosphorus in the manures was mainly extractable form with a high proportion of inorganic P. Water-soluble P and bio-available P in the manures were higher than three kinds of mineral phosphate (calcium hydrogen phosphate, calcium magnesium phosphate, and hydroxyapatite), indicating that P in the manures had high bio-availability and loss risk from the agricultural fields. [Conclusion] It was suggested that application dosage of livestock and poultry manure should be controlled and based on total P and P availability in the manures. Over application of the manure may lead to excessive accumulation and increase agricultural non-point source pollution.

Key words Livestock and poultry manure; Phosphorus; Chemical form; Availability

由于自然土壤磷素含量偏低, 施用磷肥是农业增产的重要措施。其中, 有机肥料是农业系统中磷素的重要来源。传统的有机肥料包括农家肥、秸秆、绿肥等。这些肥料中磷的含量较低, 且磷多以有机结合态形式存在。近年来, 随着我国畜禽养殖业的不断发展, 由此产生的畜禽粪便已成为农田磷素的重要来源。由于养殖系统中无机磷等添加剂的使用, 规模化养殖场产生的畜禽粪便中含磷量明显高于传统的有机肥料^[1-2], 其磷的化学形态也因添加剂的大量使用而有别于传统的有机肥料。由肥料引入的磷在农田系统中的生物有效性不仅取决于其总含量, 而且与其存在的化学形态有密切的联系。肥料中磷的化学形态组成在一定程度上将影响单位面积有机肥料的施用量。为了解规模化养殖业产生的畜禽粪中磷的生物有效性, 笔者从杭州市规模化养殖场采集牛粪、猪粪、鸭粪和鸡粪 4 种畜禽粪, 采用化学分析方法鉴定其中的磷素化学形态, 分析它们对农作物的有效性。

1 材料与与方法

从杭州市代表性规模化养殖场采集 12 个畜禽粪肥样, 分属牛粪、猪粪、鸭粪、鸡粪 4 类粪肥。每类粪肥各为 3 个样品。每个样品由同一养殖场的 4~6 次(个)分样混合而成。畜禽粪样在室温下风干, 磨细, 过 0.15 mm 土筛, 用于磷素的形态分析。样品 pH 和全磷用常规方法测定^[3]。土

壤磷分级采用 Hedley 等^[4]的方法, 提取步骤为: 称 0.5 g 风干土样于 100 ml 离心管中, 顺次用 30 ml 去离子水、0.5 mol/L NaHCO₃ (pH 8.2)、0.1 mol/L NaOH 和 1 mol/L HCl 分别提取。每次提取振荡时间为 16 h, 每次提取后用离心和过滤分离悬液。HCl 提取物中的磷采用比色法直接测定; 去离子水、NaHCO₃ 和 NaOH 的提取物中的磷包括有机磷和无机磷 2 种形态, 采用钼兰直接比色法测定溶液中无机磷含量, 经硫酸铵-硫酸消化后采用比色法测定溶液中的总磷, 二者的差值为有机磷含量。样品中残余态磷用总磷与以上 4 种可提取磷的总和和差值计算。该方法共把畜禽粪中磷分为水溶性无机磷(H₂O-Pi)、水溶性有机磷(H₂O-Po)、NaHCO₃ 可提取的无机磷(NaHCO₃-Pi)、NaHCO₃ 可提取的有机磷(NaHCO₃-Po)、NaOH 可提取的无机磷(NaOH-Pi)、NaOH 可提取的有机磷(NaOH-Po)、HCl-P 和残余态磷等 8 种磷形态。其中, 水溶性磷和 NaHCO₃ 可提取的磷有较高的生物有效性, NaOH 可提取的磷和 HCl-P 在一定条件下可逐渐释放, 残余态磷较稳定。

此处, 为了比较畜禽粪便与化肥中磷有效性的差异, 选择磷酸氢钙(其化学式为 CaHPO₄·2H₂O)、钙镁磷肥、羟基磷灰石(Ca₅(PO₄)₃(OH))等 3 种无机磷肥, 分别与以上畜禽粪便一起用去离子水和 0.5 mol/L NaHCO₃ (pH 8.5) 提取水溶性磷和有效态磷。提取时, 样品用样量约为 0.5 g, 提取剂体积为 30 ml, 提取振荡时间为 16 h, 采用钼兰直接比色法测定提取液中磷含量。

2 结果与分析

2.1 粪肥中磷的含量 表 1 表明, 杭州市 12 个畜禽粪样的

基金项目 国家科技支撑计划项目(2014BAD14B04)。
作者简介 吴崇书(1963-), 男, 浙江淳安人, 高级农艺师, 从事土壤肥料与植物保护方面的研究和推广。* 通讯作者, 教授, 博士, 从事土壤管理方面的研究。
收稿日期 2014-11-20

全磷含量在 3.68 ~ 24.67 g/kg 之间,有很大的变化。不同类型畜禽粪中磷含量有一定的差异,平均含磷量由高至低依次为猪粪 > 鸡粪 > 鸭粪 > 牛粪;猪粪中磷平均含量约为牛粪的 2.2 倍。不同种类畜禽粪中磷含量的差异可能与它们的饲料结构不同有关。因此,在实际施用畜禽粪时,应注意其含量的差异,采用不同的施用量。

表 1 供试粪样中磷含量(n=3)

类型	pH	P//g/kg 范围	平均 N/P
牛粪	7.4 ± 0.3	3.68 ~ 9.21	7.81 ± 2.41
鸡粪	7.7 ± 0.2	8.54 ~ 21.64	15.32 ± 3.17
鸭粪	7.2 ± 0.2	7.42 ~ 18.67	10.63 ± 2.68
猪粪	6.8 ± 0.3	8.78 ~ 24.67	17.20 ± 3.58

2.2 粪肥中磷的化学形态 表 2 表明,研究的几种畜禽粪便中磷素均主要以可提取态存在,其中以水溶性磷和 NaHCO₃ 可提取态磷为主,具有较高的生物有效性。猪粪、鸡粪、鸭粪和牛粪中水溶性磷和 NaHCO₃ 可提取态磷之和占全磷的比例平均分别为 71.4%、65.4%、59.3% 和 59.1%。水溶性磷和 NaHCO₃ 可提取态磷之和占总磷的比例及所有可提取态磷(包括去离子水、NaHCO₃、NaOH 和 HCl 提取)的比例一般是随着畜禽粪中磷含量的增加呈增加的趋势,表明随着畜禽粪中磷积累的增加,其有效性增加。

研究还表明,在水溶性磷和 NaHCO₃ 可提取态磷中,无机组分(H₂O-Pi 和 NaHCO₃-Pi)明显高于有机组分(H₂O-Po 和 NaHCO₃-Po)。在猪粪、鸡粪、鸭粪和牛粪的水溶性磷中,无机磷分别占 90.2%、82.3%、86.6% 和 81.0%,NaHCO₃ 可提取态磷中相应的无机磷分别占 68.2%、64.9%、72.4% 和 67.4%。罗春燕等^[5] 研究也表明,鸭粪和猪粪中含较高比例的易溶性磷。

表 2 供试粪样中磷的化学形态 %

形态	牛粪	鸡粪	鸭粪	猪粪
H ₂ O-Pi	30.2 ± 2.7	33.4 ± 2.1	30.3 ± 2.4	39.7 ± 1.9
H ₂ O-Po	7.1 ± 1.3	7.2 ± 0.9	4.7 ± 0.5	4.3 ± 0.6
NaHCO ₃ -Pi	14.7 ± 1.6	16.1 ± 2.1	17.6 ± 2.2	18.7 ± 1.8
NaHCO ₃ -Po	7.1 ± 0.8	8.7 ± 1.1	6.7 ± 0.8	8.7 ± 1.1
NaOH-Pi	0.8 ± 0.2	1.8 ± 0.5	1.1 ± 0.3	1.2 ± 0.2
NaOH-Po	5.2 ± 0.5	5.8 ± 0.6	6.7 ± 0.9	6.8 ± 0.6
HCl-P	7.8 ± 0.8	14.4 ± 1.5	10.3 ± 0.9	5.4 ± 0.7
残余态	34.2 ± 2.4	12.6 ± 1.8	29.3 ± 3.4	15.2 ± 1.7

2.3 粪肥中磷的有效性 图 1 表明,畜禽粪中磷的水溶性和生物有效性普遍较高,水溶性磷占全磷的比例在 34.4% ~ 42.8% 之间,有效磷占全磷的比例在 52.3% ~ 68.5% 之间。在 3 种无机磷肥中,羟基磷灰石中水溶性磷和有效磷的比例分别仅为 0.03% 和 0.74%,明显低于磷酸氢钙和钙镁磷肥(磷酸氢钙和钙镁磷肥的水溶性磷比例分别为 2.67% 和 4.68%,有效磷比例分别为 32.47% 和 38.54%),但所有 3 种无机磷肥中磷的水溶性和生物有效性均低于畜禽粪。这表明规模化养殖场的畜禽粪中磷素比无机磷肥中磷具有更高的生物有效性;同时,由于水溶性较高,畜禽粪施入农田后,其中的磷也具有较高的流失风险。

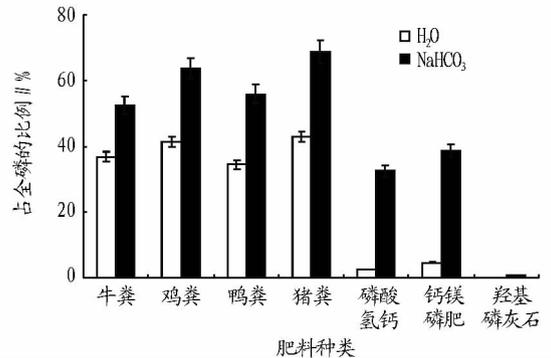


图 1 各类肥料中磷的水溶性和生物有效性

3 结论与讨论

由于磷添加剂的广泛应用,规模化养殖场产生的畜禽粪中磷素特征已不同于传统的有机肥。它不仅含磷量较高,而且因磷主要以可提取态形式存在,其磷的水溶性和生物有效性已明显高于化肥磷。因此,在利用畜禽粪改良土壤时,应根据其磷素含量和有效性高低,控制施用量,防止磷素在农田土壤中过量积累和产生农业面源污染。

参考文献

- [1] POULSEN H D. Phosphorus utilization and excretion in pig production [J]. Journal of Environmental Quality, 2000, 29:24-27.
- [2] 许俊香,刘晓利,王方浩,等. 我国畜禽生产体系中磷素平衡及其环境效应[J]. 生态学报, 2005, 25(11):2911-2918.
- [3] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科技出版社, 1978:1-320.
- [4] HEDLEY M J, STEWART J W B, CHAUHAN B S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions by cultivation practice and by laboratory incubations[J]. Soil Science Society of American Journal, 1982, 46: 970-976.
- [5] 罗春燕,冀宏杰,张维理,等. 鸭粪和猪粪中易溶性磷含量特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4):1320-1325.