

# 不同来源畜禽粪中磷铜锌化学形态及释放潜力研究\*

章明奎<sup>1</sup> 顾国平<sup>2</sup>

(1. 浙江大学环境与资源学院资源科学系 杭州 310029; 2. 绍兴市农业科学研究院 绍兴 312003)

**摘要** 对分别采自规模化养殖场和农户散养的牛粪、猪粪、鸡粪等 6 种畜禽粪的化学组成分析表明,规模化养殖场畜禽粪中磷、铜和锌含量明显高于农户散养的相应畜禽粪,而磷素含量一般是鸡粪>猪粪>牛粪;畜禽粪中磷、铜和锌主要以可提取态存在,具较高的生物有效性;畜禽粪中可提取态磷、铜和锌占总磷、铜和锌的比例一般是规模化养殖场的高于农户散养。用去离子水连续提取表明,规模化养殖场畜禽粪中水可提取的磷、铜和锌的浓度及其占总含量的比例均明显高于相应的农户散养畜禽粪。结果表明,与农户散养的畜禽粪相比,农田施用由规模化养殖场产生的畜禽粪更易导致磷、铜和锌的流失。

**关键词** 畜禽粪 养殖场 农户散养 磷、铜和锌 化学形态 释放潜力

**中图分类号**:X173 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3990(2008)01-0096-04

## Form and release potential of P, Cu and Zn of animal manure from different sources

ZHANG Ming-Kui<sup>1</sup>, GU Guo-Ping<sup>2</sup>

(1. Department of Natural Resources Science, College of Natural Resources and Environmental Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 2. Shaoxing Academy of Agricultural Sciences, Shaoxing 312003, China)

**Abstract** Six animal manure samples, including cow manure, pig manure, and chicken manure from both commercial animal farms and household animal units were collected and chemical forms and release potentials of P, Cu and Zn characterized. Results show significantly higher concentrations of P, Cu and Zn in commercial farm manures than household animal unit manures. P concentration decreases from chicken manure to pig manure, and then onto cow manure, in that order. P, Cu and Zn in the various manures are mainly present in extractable forms with high bio-availability. Proportions of extractable P, Cu and Zn forms to their total concentration are generally higher in commercial animal farm manures than in household animal unit manures. Water soluble concentrations of P, Cu and Zn in proportion to their totals are significantly higher in commercial farm animal manure than in household animal unit manure. The findings suggest that application of animal manure originating from commercial farms leads to greater P, Cu and Zn release into the environment than that originating from household animal units.

**Key words** Animal manure; Commercial animal farm; Household animal unit; Phosphorus, copper and zinc; Chemical form; Release potential

(Received July 8, 2006; accepted Nov. 23, 2006)

磷、铜和锌既是植物生长的必要元素,也是水环境的主要污染物。农业土壤中,这些元素除来自土壤母质风化残留外,主要来自肥料和农药,而有机肥料是其重要来源。研究表明,由肥料引入土壤的化学元素的生物有效性不仅取决于其总含量,更与存在的化学形态有密切联系。因此,肥料中这些元素的化学形态组成在一定程度上决定着肥料施用量。近年来,我国畜禽养殖模

式已由传统家庭式饲养向规模化、集约化、工厂化饲养演变。为了促进畜禽快速生长和防治病虫害,规模化、集约化畜禽养殖场所用饲料中添加了大量钙、磷等矿质元素以及铜、铁、锰、锌、砷、钴、锑和碘等微量元素。由于禽畜对这些元素的生物利用率较低,添加的矿物质大部分未被吸收利用而直接排出体外,使畜禽粪含有高浓度的磷和重金属,对环境产生潜在的污染<sup>[1]</sup>。为了了

\* 国家重点基础研究(973)发展规划项目(2005CB121104)

章明奎(1964~),男,博士,教授,从事土壤与环境方面的研究与教学工作。E-mail:mkzhang@zju.edu.cn

收稿日期:2006-07-08 接受日期:2006-11-23

解不同来源畜禽粪中磷、铜和锌的生物有效性,本研究分析比较了采自规模化养殖场和散养农户的牛粪、猪粪、鸡粪等 6 种畜禽粪中磷、铜和锌的化学形态及其在水中的释放潜力,以期为有机肥的合理施用提供依据。

## 1 材料与方法

研究选择了 6 个畜禽粪肥样,分别为规模化养殖场和农户家庭散养畜(禽)舍的牛粪、猪粪和鸡粪。规模化养殖场的饲料为配方饲料,饲料中添有各类矿物质。农户散养的饲料为一般的杂粮,不添加任何矿物质。每个样品由 4~6 次(个)分样混合而成。畜禽粪样在室温下风干,全部磨细过 2 mm 土筛后,部分样品进一步磨细过 0.15 mm 筛用于磷、铜和锌的全量分析;其他样品用于测定样品磷、铜和锌的形态组成和水提取性。

pH 值、全氮和全磷用常规方法测定<sup>[2]</sup>。样品中铜和锌分析采用  $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4\text{-HF}$  三酸消化,原子吸收光谱法测定。土壤磷分级采用 Hedley 等(1982)的方法<sup>[3]</sup>。方法将畜禽粪中磷分为水溶性无机磷( $\text{H}_2\text{O-Pi}$ )、水溶性有机磷( $\text{H}_2\text{O-Po}$ )、 $\text{NaHCO}_3$  可提取的无机磷( $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$ )、 $\text{NaHCO}_3$  可提取的有机磷( $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$ )、 $\text{NaOH}$  可提取的无机磷( $\text{NaOH-Pi}$ )、 $\text{NaOH}$  可提取的有机磷( $\text{NaOH-Po}$ )、 $\text{HCl}$  可提取的  $\text{P}(\text{HCl-P})$  和残余态磷( $\text{Res-P}$ )等 8 种磷形态。其中水溶性磷和  $\text{NaHCO}_3$  可提取磷有较高的生物有效性, $\text{NaOH}$  可提取磷和  $\text{HCl}$  可提取磷在一定条件下也可逐渐释放,残余

态磷较为稳定。

粪肥中重金属元素(铜、锌)分级采用 Amacher 的程序<sup>[4]</sup>,共分为交换态(Exchangeable)、碳酸盐结合态(Carbonate-bound)、氧化物结合态(Oxides-bound)、有机质结合态(Organic matter-bound)和残余态(Residual)5 种组分,其生物有效性为:交换态>碳酸盐结合态>氧化物结合态、有机质结合态>残余态<sup>[4]</sup>。

粪肥中磷、铜和锌在水中的释放采用水连续提取法测定。提取试验在 50 mL 的离心管中进行,共连续提取 5 次,每次提取的水/样比为 20:1,振荡提取时间为 2 h,每次提取用离心机离心分离固相和液相,提取液中磷用比色法测定,铜和锌用原子吸收法测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 粪肥中磷、铜和锌的含量

分析结果表明(表 1),规模养殖场畜禽粪中磷、铜和锌含量明显高于农户散养的相应畜禽粪,磷、铜和锌含量分别为农户散养的 2.24~5.22 倍、3.89~11.68 倍和 7.93~31.67 倍。规模养殖场和农户散养的畜禽粪磷素含量一般为鸡粪>猪粪>牛粪;规模化养殖场不同类型畜禽粪之间铜和锌含量差异明显,铜和锌含量为:鸡粪>猪粪>牛粪;但农户散养的这 3 类粪肥之间的铜和锌含量的差异较小。规模化养殖场畜禽粪与农户散养畜禽粪之间的全氮与全磷比值也有较大的差异(表 1),前者在 5.5 以下,后者在 8.5 以上。

表 1 供试粪样中磷、铜和锌含量

Tab. 1 Contents of P, Cu and Zn in the tested manure samples

样号 Sample	pH	N( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	P( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	N/P	Cu( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	Zn( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
牛粪-农户 Cow manure from household	7.8	21.3	2.5	8.5	35	27
牛粪-养殖场 Cow manure from farm	7.4	30.6	5.6	5.5	136	214
鸡粪-农户 Chicken manure from household	8.1	46.8	5.4	8.7	47	39
鸡粪-养殖场 Chicken manure from farm	7.6	72.3	28.2	2.6	517	1 235
猪粪-农户 Pig manure from household	6.9	34.7	3.6	9.6	32	41
猪粪-养殖场 Pig manure from farm	7.4	56.8	11.3	5.0	374	635

### 2.2 粪肥中磷、铜和锌的化学形态

粪便中磷素主要为可提取态(表 2),其中又以水溶性磷( $\text{H}_2\text{O-P}$ )和  $\text{NaHCO}_3$  可提取态磷( $\text{NaHCO}_3\text{-P}$ )为主,有较高的生物有效性。相同类型粪肥的  $\text{H}_2\text{O-P}$  含量及其占总磷(TP)的比例均是规模养殖场高于农户散养,而残余态磷( $\text{Res-P}$ )恰好相反。畜禽粪中铜和锌也主要以可提取态形式存在(表 3),其中铜的有机质结合态>氧化物

结合态>残余态>碳酸盐结合态>交换态;而锌的化学形态组成一般是:有机质结合态、氧化物结合态、碳酸盐结合态>残余态>交换态,有机质结合态、氧化物结合态和碳酸盐结合态的锌比例均在 20%~40% 之间,交换态锌的比例规模化养殖场畜禽粪明显高于农户散养畜禽粪,而残余态锌的比例却是农户散养的畜禽粪明显高于规模化养殖场的畜禽粪。

表 2 供试粪样中磷的化学形态组成

Tab. 2 Compositions of chemical forms of P in the tested manure samples

%

磷形态 P form	牛粪 - 农户 Cow manure from household	牛粪 - 养殖场 Cow manure from farm	鸡粪 - 农户 Chicken manure from household	鸡粪 - 养殖场 Chicken manure from farm	猪粪 - 农户 Pig manure from household	猪粪 - 养殖场 Pig manure from farm
H <sub>2</sub> O-Pi	16.3	45.3	17.8	36.1	18.4	41.3
H <sub>2</sub> O-Po	12.4	9.3	8.3	5.0	8.7	4.6
NaHCO <sub>3</sub> -Pi	13.3	8.7	17.7	15.3	14.3	11.4
NaHCO <sub>3</sub> -Po	10.7	6.1	13.4	9.6	13.6	10.3
NaOH-Pi	0.3	0.6	1.1	1.3	1.3	0.5
NaOH-Po	9.3	6.7	5.6	4.9	8.7	7.7
HCl-P	6.8	6.1	17.1	22.3	7.6	9.6
Res-P	31.2	17.2	19.0	5.5	39.4	14.6

表 3 供试粪样中铜和锌的化学形态组成

Tab. 3 Compositions of chemical forms of Cu and Zn in the tested manure samples

%

重金属 Heavy metal	形态 Form	牛粪 - 农户 Cow manure from household	牛粪 - 养殖场 Cow manure from farm	鸡粪 - 农户 Chicken manure from household	鸡粪 - 养殖场 Chicken manure from farm	猪粪 - 农户 Pig manure from household	猪粪 - 养殖场 Pig manure from farm
Cu	交换态 Exchangeable	0.6	2.4	1.1	5.3	1.3	3.1
	碳酸盐结合态 Carbonate-bound	4.7	3.3	5.3	3.6	7.1	4.4
	氧化物结合态 Oxides-bound	21.7	32.4	27.4	29.8	30.3	31.1
	有机质结合态 Organic matter-bound	32.4	38.6	36.8	41.9	36.4	44.3
	残余态 Residual	40.6	23.3	29.4	19.5	24.9	17.4
Zn	交换态 Exchangeable	0.5	1.6	0.9	2.5	0.6	2.1
	碳酸盐结合态 Carbonate-bound	22.3	31.4	2.6	38.3	25.7	36.6
	氧化物结合态 Oxides-bound	25.9	34.8	26.8	31.6	22.4	32.4
	有机质结合态 Organic matter-bound	32.7	25.6	29.3	22.4	25.8	21.3
	残余态 Residual	18.6	6.6	18.4	5.2	25.5	7.6

### 2.3 粪肥中磷、铜和锌的水可提取性

水连续提取试验表明,粪肥中有较高比例的磷可被水溶解释放,5次连续提取释放的磷占TP的37.4%~67.7%;规模化养殖场畜禽粪的提取比例明显高于农户散养(图1)。规模化养殖场牛粪、猪粪、鸡粪的5次累计提取释放的磷分别为农户散养畜禽粪的3.3倍、7.5倍和4.8倍。5次提取磷累计释放量为鸡粪>猪粪>牛粪。

与磷相比,畜禽粪中水可提取的铜和锌占其总量的比例相对较低,但连续5次提取的铜和锌的比例仍达到较高水平,其中铜为1.32%~6.30%,锌为0.92%~3.30%,且提取比例都是规模化养殖场

明显高于农户散养。而规模化养殖场与农户散养的畜禽粪中水提取的铜和锌的绝对提取量的差异更为明显(图1)。规模化养殖场牛粪、猪粪、鸡粪的5次提取累计释放的铜分别为农户散养相应畜禽粪的10.6倍、43.3倍和29.6倍。规模化养殖场牛粪、猪粪、鸡粪的5次累计提取释放的锌分别为农户散养的18.7倍、72.4倍和55.6倍。这表明饲用含添加剂的饲料可大大提高畜禽粪中铜和锌的生物有效性及释放潜力。因此,当畜禽粪直接施用于地表时,其中的磷、铜和锌很易随地表径流发生迁移。且施用规模化养殖场的畜禽粪,这种环境风险更为明显。

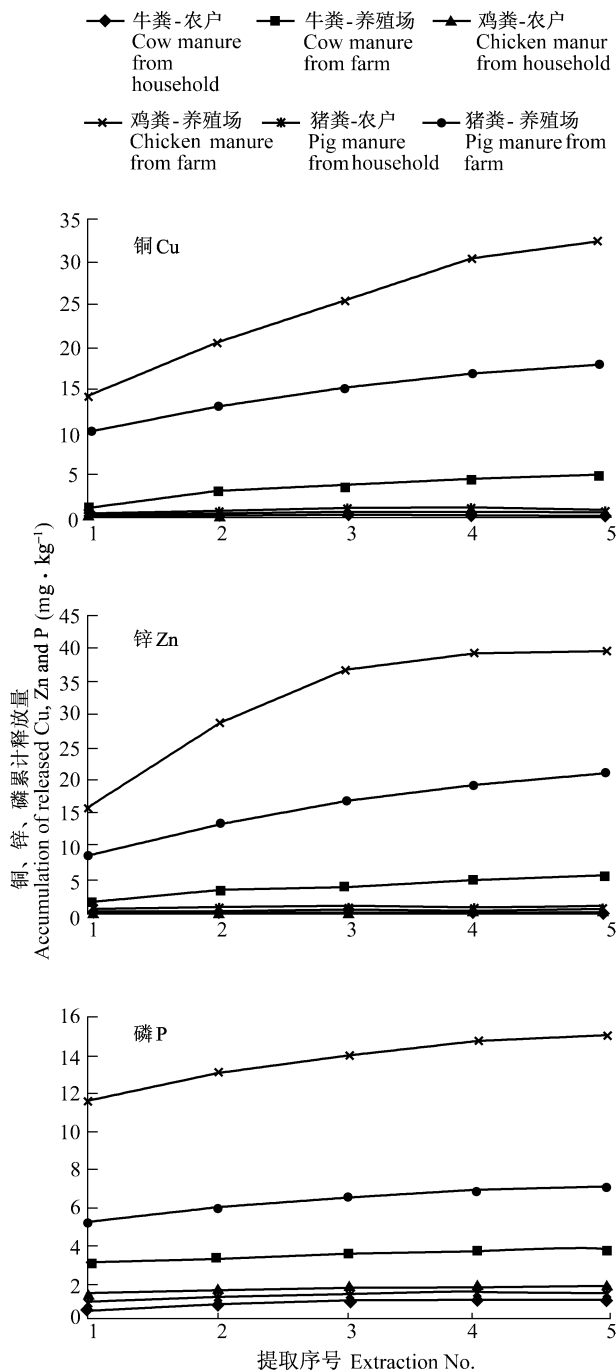


图 1 水淋洗过程中粪肥中磷、铜和锌的累计释放量

Fig. 1 Cumulative amounts of P, Cu, and Zn released from the manure samples by water leaching

### 3 讨论

动物粪便传统上常被认为是一种有效的土壤改良剂,既能提高土壤有机质水平,也能提高土壤氮素、磷素和铜、锌等微量元素含量。以往农田有机肥的施用量常以氮素为依据,根据作物对磷素的要求确定有机肥施用量。由于有机肥 N/P、N/Cu 和 N/Zn 较高,一般不会引起磷、铜和锌的显著积累。但本研究结果表明,规模化养殖场产生的粪肥中 N/P、N/Cu、N/Zn 比明显低于传统有机肥,其中有机肥中 N/P 比为 2:1 ~ 6:1,明显低于一般作物吸收的 N/P 比(7:1 ~ 11:1)。所以施用规模化养殖场畜禽粪若仍采用基于氮素为基础的管理,长期施用可能会引起磷、铜和锌在土壤中明显积累,污染土壤和周围环境,应引起注意。

### 参考文献

- [1] Poulsen H. D. Phosphorus utilization and excretion in pig production[J]. J. Environ. Qual. ,2000,29(1):24-27
- [2] 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
- [3] 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 Sci. Soc. Am. J. ,1982,46:970-976
- [4] Amacher M. C. Nickel, Cadmium and Lead[M]// Spark D. L. Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods. Madison, Wisconsin, USA: SSSA and ASA, 1996: 739-768