

# 猪粪等有机肥料中磷素养分循环 再利用的研究\*

莫淑勋 钱菊芳 钱承梁

(中国科学院南京土壤研究所, 210003)

## 摘 要

本文研究了有机肥料包括 4 种猪粪、两种牛粪和鸡粪中磷素养分的含量、转化及水稻对它们的吸收利用特点。结果表明这类有机肥料中磷素的 55—80% 为无机态, 它们和无机磷肥一样施入土壤后其磷素迅速被微生物(或化学)固定。盆栽试验表明, 水稻能逐步吸收利用其中的磷素, 且与对无机磷肥中磷素的吸收利用一样, 于 7 月水稻生育旺期达到高峰, 二者趋势甚为一致。有机肥施入土壤在分解过程中, 用  $0.5 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$  提取土壤, 溶液中的活性有机磷不能用钼兰法直接比色测出, 但可被作物迅速利用。有机肥与化学磷肥磷有效性相近, 等效值接近 1。但前者生产水稻干物效率要高, 这与其中所含微生物、有机成分及多种营养元素有关。

各种废弃物包括农业废弃物的研究和利用受到许多国家重视, 除了环境保护和维持自然生态系统等方面的需要外, 对其中养分的循环再利用也具有重要意义。据 Kilmer<sup>[1]</sup> 估算, 美国 1973 年仅就动物废弃物一项所含的磷素就达 222 万吨, 超过全国当年所施化学磷肥的 10%; 丹麦<sup>[2]</sup>(1977—1978) 全国农作物需要的养分中由厩肥供应的氮为 29%, 磷为 52%, 钾为 54%。其全国每年每公顷平均施用厩肥磷 20 公斤。我国 60 年代以后氮肥工业和农田化学氮肥的施用发展很快, 据 Uexkull<sup>[3]</sup> 估算, 中国施用的氮肥已占到全世界施用总量的 20%。农业产量大幅度增长后, 土壤中磷、钾等养分的消耗加快。我国磷矿总贮量居世界第 4 位, 从 1960 年至 1986 年的 27 年里, 磷肥生产增加了 12 倍。但由于矿源和已建成开采的六大型磷矿主要集中在西南和华中等地区, 而且多为中、低品位等原因, 这就使磷肥工业的发展受到一定限制。因此化肥生产中的  $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5$  从 1969 年的 1:0.71 下降到 1987 年的 1:0.21; 全国缺磷面积占总耕地面积从 1957 年的 27% 增加到 1983 年的 70%。为此, 除了继续开辟发展化学磷肥的各种途径外, 有机肥料中磷素养分的循环再利用也值得重视。我国 1985 年全国牛(包括奶牛)、羊、猪、鸡四项畜、禽存栏达 22.2 亿头, 其总排泄量为 10.56 亿吨, 其中含磷 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 247.5 万吨, 折合标准磷肥 1 375 万吨, 相当于 1985 年化学磷肥产量的 1.38 倍<sup>[4]</sup>。这一巨大的磷素资源的研究和充分有效利用, 对缓解磷肥供需矛盾具有一定实际意义。

\* 本项工作得到鲁如坤教授的支持, 鲁如坤、蒋柏藩教授提供宝贵意见, 时正元、高森林等同志代为采集部分标本, 在此一并致谢。

## 一、供试材料和方法

选用了含磷量不同的4种猪粪、两种牛粪、两种鸡粪,样品除一种采自浙江长兴外,其余均采自江苏农村或南京市。供试土壤为浙江金华第四纪红色粘土发育的水稻土(老稻田)。温室盆栽每盆用土2.5公斤,在氮、钾充分满足的条件下以不同有机肥作为磷源,并以普通过磷酸钙和钙镁磷肥以及不施磷肥作为对照。一项试验栽种水稻至成熟;另一项出苗后每隔一定时间从土面以上5cm剪取水稻植株地上部分,烘干称重后分析磷素。实验室培育一项用青霉素瓶装土5g,分别加入各类有机肥料(含P、O<sub>2</sub>均为1.2mg)。27—28℃ 凉水培育,定期取样测磷。另一项称土100g放入烧杯分别加入20, 40, 60, 80, 100ppm 磷的猪粪,过磷酸钙及钙镁磷肥,培育一月后取样测磷。上述二项培育试验所取土样均用0.5mol L<sup>-1</sup>NaHCO<sub>3</sub>(pH8.5)于25℃下提取后直接测磷或提取液用三酸消化后测磷。各项磷的分析均用钼兰比色法,其余测定采用常规方法。

## 二、结果及讨论

### (一) 猪粪等有机肥料中磷素养分的组成特点

各种动物排泄物中磷的含量、组成由于饲料种类、牲畜生理特性等条件的不同而不同,但许多研究结果表明,猪、牛、羊等牲畜排泄物虽说是有机物,其中所含磷素却有很大一部分为无机态。早在50年代末Peperzak<sup>[5]</sup>就对不同动物的粪便及有、无垫料等一系列有机肥料中磷的组成、形态作过研究。他收集了美国依阿华州某地这类样品49个,测定结果表明其中无机态磷平均占全磷的73%,有机态磷仅占27%。Bromfield<sup>[6]</sup>在研究澳大利亚草原不同含磷量羊粪磷素组成中,用水和0.2mol L<sup>-1</sup>HCl提取了其中90—98%的无机磷,它们占全磷量的47—92%。他认为这一方法提取的羊粪磷易于被作物吸收利用。我们对以上几种有机肥料进行测定,所得结果列于表1。从表1看出几种有机肥料磷素中一般55—100%可被0.2mol L<sup>-1</sup>HCl提取。从我国农村的发展情况来看,由于生

表1 几种有机肥料\*磷素养分组成特性

Table 1 Composition character of phosphorus in several organic manures

肥料 Manures	采样地点 Location of sampling	全磷 Total P P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.2mol L <sup>-1</sup> HCl 提取的磷 P extracted by 0.2mol L <sup>-1</sup> HCl		有机碳 Organic C (%)	C/P
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	占全磷% Accounting for total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)		
猪粪 2	江苏六合	0.69	0.69	100	38.5	128
4	浙江长兴	1.82	1.37	75.3	39.0	49.1
5	江苏溧阳	3.07	1.69	55.0	34.0	25.4
1	江苏镇江	3.93	3.14	79.9	34.4	20.1
水牛粪	江苏江宁	2.56	1.84	71.9	39.6	35.5
奶牛粪	南京卫岗奶牛场	3.21	2.46	76.6	35.9	25.7
鸡粪 1	江苏常州	2.77	1.84	66.4	28.6	23.7
2	南京下关养鸡场	5.71	4.16	72.9	29.7	11.9

\* 有机肥料风干磨细过40孔筛。

产责任制的实行,饲料条件改善,许多地区采用工业加工的配合饲料,动物排泄物中磷的含量比 60—70 年代大为提高。从刘元昌在江浙太湖地区采集的 124 个猪粪样品的测定结果看<sup>1)</sup>,与 50 年代相比,猪粪中氮增加 22%,磷增加 48% 至 3.7 倍不等,而钾的含量变化不大。说明饲料中精料粮食的增加。本项试验中采自镇江的猪粪(表 1 中 1 号猪粪标本为纯物,风干)全磷( $P_2O_5$ )高达 3.93%;南京下关养鸡场的鸡粪含磷( $P_2O_5$ )达到了 5.71%。由此可见随着农业现代化的发展,人民生活、生活水平的提高,有机肥料中养分的循环再利用更具有重要意义。

## (二) 几种有机肥料中磷素对水稻供应的特点

有机肥料中磷素对作物的供应受其本身组成、环境水热条件及植物生长等因素的影响。在温室盆栽条件下,逐次剪取水稻植株地上部分(离土面茎基以上 5cm 处剪取)测定其中的磷量,所得结果列于图 1。从图看出水稻对过磷酸钙和三类有机肥料中磷素的吸收利用高峰在 7 月份,此时气温升高,正是水稻生育旺期。对有机、无机肥料中磷素的吸收利用均达到高峰期。本试验中各盆均加入等量(15g)有机肥,由于含  $P_2O_5$ % 不同,加入磷量差异很大,故从图 1 只可看出水稻对有机、无机肥料磷吸收利用的趋势完全一致,无法从吸收量上加以比较。在没有作物生长的条件下,由于微生物的活动,无论是无机磷肥还是有机肥料中的有效磷均被微生物暂时固定。培育试验结果(图 2)表明,这种固定

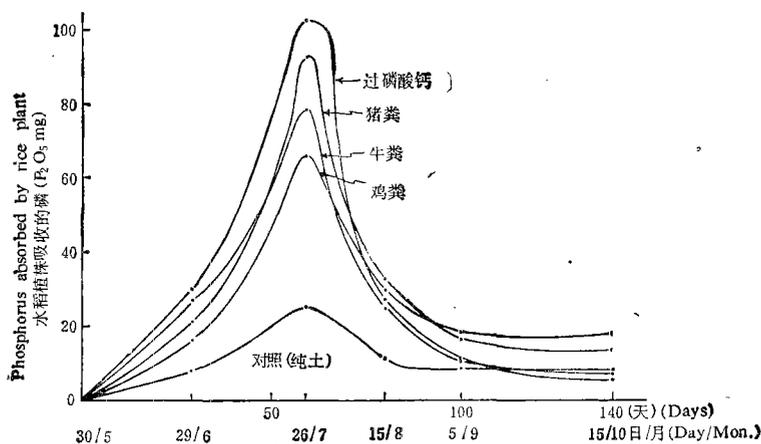


图 1 水稻对几种有机肥料中磷的吸收过程(盆栽试验)

Fig. 1 The process of phosphorus uptaken from several organic manures by rice plant (pot experiment)

(也包括化学固定)进行很快,固定的量亦高。5 天即达到了加入磷量的 80% 以上。这点和氮的转化是大为不同的。在没有植物吸收的情况下,这种固定情况可以维持一相当长的时间。Bowman<sup>[7]</sup> 等研究一些有机磷化物制品在土壤中的分解情况时采用 Olsen 方法将  $0.5 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$  提取的土壤溶液除直接用钼兰法比色测磷( $P_i$ )外,还将这一提取液用  $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$  消化后测磷,后者减去前者( $P_i$ )所得结果他称为活性有机磷 ( $P_o$ )。

1) 引自中国科学院南京土壤研究所,1985: 太湖地区高产土壤的培育和合理施肥的研究(资料)。

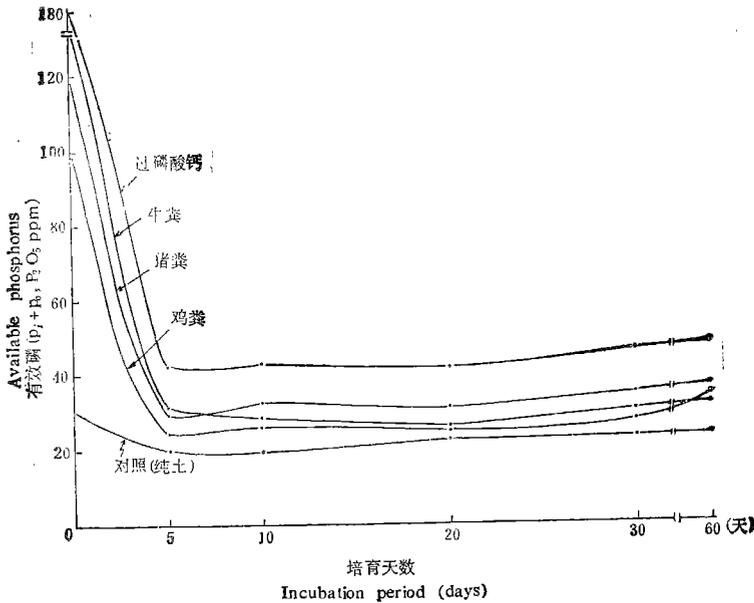


图 2 有机肥料分解过程中磷素的转化情况(培育试验)

Fig. 2 Transformation of available P of several organic manures in its process of decomposition (incubation)

他认为  $P_i + P_o$  可以更好地作为植物有效磷供应的指标。Azar<sup>[8]</sup> 的研究结果表明土壤中加入奶牛粪培育后以  $0.5\text{mol L}^{-1}\text{NaHCO}_3$  提取的磷可以作为有效磷指标。本试验将有机肥料加入土壤培育按 Bowman-Cole 方法测得的  $P_i$  或  $P_i + P_o$  占有机肥料中  $P_2O_5$  总量%与等肥量或等磷量下施用有机肥料盆栽水稻所吸收的磷占有机肥料  $P_2O_5$  总量%进行相关统计,均达到 0.05 水准的相关性。培育试验结果还表明施入红壤性水稻土(老稻田)的有机肥料或无机磷肥(含 20, 40, 60, 80, 100ppm  $P_2O_5$ ) 培育一月后其  $P_o$  (活性有机磷) 的含量比同量施入红壤旱地要高出 5—6 倍。很可能这种磷易于分解,因而易被微生物或土壤固定。比起老稻田来,红壤旱地的微生物活性要低,而固磷能力又显著高,故  $P_o$  含量要低。但是老稻田淹水培育  $P_o$  的量也比其保持 60% 田间持水量培育测得的量要多一些,看来后者通气有利于其分解。可见这部分磷的变化易受土壤环境条件的影响,其形态、有效机制以及在磷素养分循环中的作用有待研究。

本试验中在有机肥料等磷量(每盆 250mg  $P_2O_5$ )的条件下,栽植水稻直到成熟收获所得的几项结果列于表 2。从表 2 看出,施用有机肥料的处理除鸡粪 2 号外均比施用化学磷肥的处理增加水稻植株的干物质,而且单位磷素生产的水稻干物(生产效率)比化学磷肥要高。这可能与有机肥料中所含的微生物、有机成分及其他多种营养成分有关。由此可见,注意收集并充分利用有机肥料补充土壤磷素是值得研究和提倡的,这是促进农业生产发展的有效措施。

### (三) 有机肥料中磷素与化学磷肥中磷素的等效当量值

猪粪等有机肥料体积大,含水含磷量各有不同,对其中磷素的有效性如何衡量,与化

表 2 水稻对有机肥料及化学磷肥中磷的利用

Table 2 Utilization of P in organic and chemical fertilizer by rice plant

施用肥料 Manure added	吸收的肥料磷* Fert. P uptaken by rice plant		比无磷对照增** D. M. increase compared with controll		干物生产效率*** Efficiency of d. m. production
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/pot)	占施入 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> % Accounting for P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> added %	干 物 (g/pot)	(%)	
猪粪 2	131	52.4	23.2	62	177
4	102	40.8	13.8	37	135
5	84	33.6	13.5	36	161
1	111	44.4	11.0	29	99
水牛粪	128	51.2	14.1	38	110
奶牛粪	101	40.4	14.8	40	147
鸡粪 1	98	39.2	11.3	30	115
2	99	39.6	10.4	28	105
过磷酸钙	121	48.4	10.9	29	90
钙镁磷肥	107	42.8	10.2	27	95

\* 每盆均加入折合含 250 毫克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的有机肥, 水稻品种为广陆矮 4 号, 吸收的磷中已减去来自土壤的磷。

\*\* 以对照处理的干物 (37.4g/pot, 吸收 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>156mg/pot) 为 100。

\*\*\* 每单位 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 生产的干物单位数。

学磷肥相比二者有效性之间有何关系? 对这一问题作某些了解, 可为合理施肥提供参考。Azevedo 和 Stout(1974)<sup>[9]</sup>根据一些试验结果提出, 有机肥施用当年, 其氮的有效性相当于商品氮肥的 20—50%; 而有机肥料(多指动物废弃物)中的磷与商品磷肥中的磷有效性相近(施用同量磷的条件下)。本项试验结果也证实了这一点。在施用等磷量条件下盆栽水稻, 测定上述各有机肥料与普通过磷酸钙及钙镁磷肥中磷素有效性之间的关系。这种等效关系姑且称之为等效值或等效当量值, 结果列于表 3。表中有机肥与化学磷肥中磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 等效值一栏的计算方法如下:

$$\text{磷 (P}_2\text{O}_5\text{) 等效值} = \text{有机肥中磷 (P}_2\text{O}_5\text{) 回收 \%} \\ \times \left( \frac{1}{\text{化学磷肥中磷 (P}_2\text{O}_5\text{) 回收 \%}} \right)$$

从概念上讲为某一有机肥中一单位 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 中的有效量与提供此同一有效量的化学磷肥中的 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量之比称为等效值。以上述八种类型不同的有机肥与过磷酸钙所计算的等效值的平均值为 0.88 ± 0.12; 同理, 与钙镁磷肥所计算的等效值平均值为 1.00 ± 0.14, 再将二者平均, 得到总平均值为 0.94 ± 0.06, 接近于 1。由此可见, 有机肥料中磷的有效性与化学磷肥中磷的有效性相近。将 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 等效值通过换算得到效应大致相等的肥料量, 结果列于表 3 的后三栏, 便于参考应用。上述结果是在温室盆栽条件下获得的, 与田间条件有一定差异, 但是计算等效的双方均处在同一条件下, 在条件改变时这种等效关系将仍然存在。可望这些结果对制定施肥制度, 合理施肥, 肥料试验以及电子计算机有关参数的选用等有一定参考价值。

表3 有机肥料与化学磷肥中磷( $P_2O_5$ )的等效关系  
 Table 3 Relationship of P ( $P_2O_5$ ) equivalent efficiency of organic and chemical fertilizer to rice plant

肥料名称 Manures	全磷 % Total P (%)	从肥料中吸收的磷 <sup>(1)</sup> P uptaken from manures (mg/pot)	肥料磷回收 % Recovery of P from manures (%)	有机肥料与化学磷肥等效值 Value of equit. efficiency of P in org. and in		提供等量 <sup>(4)</sup> 有效磷的肥料量 Amount of fert. providing an equal of avail. P		
				过磷酸钙 SP(2)	钙镁磷肥 CaMgP(3)	有机肥 Org.	过磷酸钙 SP	钙镁磷肥 CaMgP
猪粪 2	0.69	131	52.4	1.08	1.22	145	7.0	8.5
4	1.82	102	40.8	0.84	0.95	55	5.4	6.6
5	3.07	84	33.6	0.69	0.79	33	4.4	5.5
1	5.93	111	44.4	0.92	1.04	25	5.9	7.3
水牛粪	2.56	128	51.2	1.06	1.20	39	6.8	8.4
奶牛粪	3.21	101	40.4	0.83	0.94	31	5.3	6.6
鸡粪 1	2.77	98	39.2	0.81	0.92	36	5.2	6.4
2	5.71	99	39.6	0.82	0.93	18	5.3	6.5
过磷酸钙	15.52	121	48.4	$\bar{x} = 0.88$	$\bar{x} = 1.00$			
钙镁磷肥	14.33	107	42.8	0.12	0.14			
				$\bar{x} = 0.94$	$\sigma_x = 0.06$			

注: (1) 作物为早稻, 品种为广陆矮4号, 已减去从土壤中吸收的磷。

(2) 为普通过磷酸钙系南京化学公司产品。

(3) 钙镁磷肥为浙江兰溪磷肥厂生产。

(4) 从该肥料磷回收%计算, 此等量相当于—单位磷中提供水稻能吸收的量, 有机肥为风干物。

### 三、结 语

动物排泄物类有机肥中所含磷素一般有一半以上呈无机态。这些有机肥中磷素的有效性与化学磷肥中磷素的有效性基本相当。等效平均值为 1 左右。随着人民生活水平的提高,对动物性蛋白的要求日益增加,动物排泄物的数量也会多起来。因此,重视其中养分合理、充分的循环再利用,对促进农业增产,是一项十分重要的工作。

### 参 考 文 献

- [1] von Uexkull, H. R. and Bosshart, R. P. (李伏生译), 1987: 预测钾的需要量。《钾的土壤测试及作物反应》论文集, 16—24 页, 江苏科学技术出版社。
- [2] 中国农业年鉴编辑委员会编辑 1987: 中国农业年鉴。252—254 页, 农业出版社。
- [3] Sommers, L. E. and Sutton, A. L., 1976: Use of waste materials as sources of phosphorus. In "The Role of Phosphorus In Agriculture" Proceeding of a symposium held 1—3 June 1976 at the NFDC. 515—544.
- [4] Larsen, K. E., 1980: Phosphorus effect of animal manure and sewage, In "Phosphorus In Sewage Sludge and Animal Waste Slurries", 207—232.
- [5] Peperzak, P. et al., 1959: Phosphorus fractions in manures. *Soil Science* 87: 293—302.
- [6] Bromfield, S. M., 1961: Sheep feces in relation to the phosphorus cycle under pastures. *Aust. J. Agric. Res.* 12: 111—123.
- [7] Bowman, R. A. and Cole, C. V., 1978: Transformation of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by  $\text{NaHCO}_3$  extraction. *Soil Science* 125: 49—54.
- [8] Azar, K. E.; Laag, A. E. and Pratt, P. F., 1980: Bicarbonate-extractable phosphorus in fresh and composted dairy manures. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 44(2) 435—437.
- [9] Azevedo, J. and Stout, P. R., 1974: Farm animal manures: A review of their role in the agricultural environment. "Division of Agri. Sci. Univ. of Calif. Manual".

## STUDIES ON PHOSPHORUS OF ORGANIC MANURES AND ITS REUTILIZATION

Mo Shuxun, Qian Jufang and Qian Chengliang

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008*)

### Summary

To study phosphorus in organic wastes four kinds of pig excrete and two kinds of cattle and chicken excretes were collected for a laboratory study and a greenhouse pot experiment of rice plant on a paddy soil derived from Quaternary red clay. The pots without phosphorus fertilizer and with chemical phosphorus fertilizer were taken as controls in the experiment. Results obtained are as follows:

1. Total phosphorus contained in these organic excretes ranged from 0.69—5.71%, of which 55—80% was in an inorganic form which could be extracted by  $0.2 \text{ molL}^{-1}$  HCl.

2. 80% of available phosphorus in organic or chemical phosphorus fertilizers added to soil were fixed or immobilized temporarily within a short period.

3. Phosphorus added to soil whether as organic or chemical source could be uptaken by rice plant in a similar pattern which indicated a peak of uptake in July, a period of vigorous growth of rice plant.

4. There were two forms of phosphorus, i.e., inorganic ( $P_i$ ) and labile organic ( $P_o$ ) phosphorus, in the extract ( $0.5 \text{ molL}^{-1}$   $\text{NaHCO}_3$ , pH 8.5) of soil in which eight kinds of organic manure with the same total amount of phosphorus were added for decomposition. The  $P_i + P_o$  was found to have a close correlation with the percentage of phosphorus uptaken by rice plant in total phosphorus content of organic manure added to soil.

5. As Nitrogen and potassium nutrients were fully satisfied by application of chemicals in all treatments with the same amount of phosphorus, more dry matter of rice plant was produced with organic manure than chemical fertilizer. Microorganism, organic material and other nutrients contained in organic manure would be beneficial to rice plant.

6. A value of equivalent efficiency of phosphorus in both organic and chemical P fertilizers was calculated based on the utilization of phosphorus by rice plant. An average of 1 means that the utilization of phosphorus in both fertilizers by rice plant is equivalent roughly.