

# 有机肥料和土壤中的有机磷对水稻的营养效果

孙 羲 章永松

(浙江农业大学, 310029)

## 摘 要

本文对三种有机肥料和二种土壤的肌醇六磷酸磷含量和有机磷进行了测定和分组, 通过无菌溶液培养, 比较了肌醇六磷酸磷与无机磷在等磷量的条件下对水稻的营养效果。结果表明: 猪、鸡粪中有机磷的形态主要是以肌醇六磷酸钙镁盐为主, 而土壤和牛粪是以肌醇六磷酸铁的形式为主。肌醇六磷酸磷对水稻的营养效果明显优于无机磷。磷的分组结果表明: 猪、鸡粪中有机磷以活性和中等活性有机磷为主, 而土壤则以稳定性有机磷为主, 牛粪介于二者之间。因此, 猪、鸡粪中有机磷的有效性高于牛粪, 而以土壤中的有机磷为最低。

**关键词** 有机肥料, 肌醇六磷酸, 有机磷分组, 水稻, 无菌培养, 肌醇六磷酸酶

土壤中的有机磷一般占全磷的 20—50%<sup>[1]</sup>, 而其中 60% 以上是肌醇六磷酸磷<sup>[6]</sup>。因此, 在有关土壤中有机磷的分组、肌醇磷酸磷的测定以及在土壤中的转化等方面已有不少报道<sup>[2,3,5-7]</sup>。然而, 作为土壤有机磷主要来源之一的有机肥料, 孙羲等人<sup>[9]</sup>对其中的核酸磷含量以及对水稻的营养效果已有报道, 目前进一步研究有机肥料中主要的有机磷——肌醇磷酸磷的含量、形态以及对水稻的营养效果等问题。

## 一、试验材料与方法

猪、牛、鸡粪三种有机肥料均取自本校畜牧场, 青紫泥取自嘉兴市农科所, 红壤性水稻土取自巨州市十里丰农科所。有机磷含量采用灼烧法<sup>[2]</sup>; 土壤和有机肥的肌醇磷酸磷含量采用 Consgrove 的方法<sup>[7]</sup>; 磷的分组按 R. A. Bowman 和 C. V. Cole 建议的方法<sup>[2,3,9]</sup>; 肌醇六磷酸磷和无机磷对水稻的营养效果比较, 采用无菌溶液培养, 培养液为国际水稻研究所配方, 磷的浓度为 10mg/kg, 水稻品种为杂交水稻汕优 6 号(珍汕 97 A × IR26); 种子以饱和漂白粉溶液消毒 10 分钟, 再用去离子水洗净, 排在尼龙网上, 在无菌培养室中发芽育苗, 二周后根系以 0.1% HgCl<sub>2</sub> 消毒 3 分钟, 再用无菌水洗净, 移入经高压灭菌的培养液中培养, 每周换培养液一次, 三周后测其干物质积累量作为营养效果, 试验重复四次。培养期间, 每天通气 10 分钟, 光照 12 小时, 以日光型镉灯为光源, 光照强度为 2500Lux, 温度为 30℃ ± 1℃。净光合作用效率、气孔导度和蒸腾量用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6200 便携式光合作用测定系统测定; 水稻对肌醇六磷酸中碳的吸收, 取 50ml 培养液在水浴上蒸干, 再用重铬酸钾氧化法测定; 肌醇六磷酸酶活性测定按郑洪元介绍的

方法<sup>[4]</sup>;培养液 pH 的变化用 Beckman  $\phi$ 70pH 计测定。

## 二、结果与讨论

### (一) 有机肥料和土壤中肌醇六磷酸磷含量以及有机磷的分组

通过对三种有机肥料和二种土壤的全磷、有机磷和肌醇六磷酸磷的含量测定(表 1), 结果表明:猪、鸡粪中的有机磷分别占总磷量的 47.2% 和 53.5%, 牛粪只占 30.4%, 青紫泥和红壤性水稻土分别占 25.0% 和 26.7%。猪、鸡粪中有机磷的形态主要是肌醇磷酸磷, 占 70% 左右, 青紫泥和红壤性水稻土占 60% 左右, 牛粪占 45% 左右。就形态而言, 猪、鸡粪中的肌醇磷酸磷主要以钙、镁盐, 约占 80%, 牛粪只占 1/3, 青紫泥和红壤性水稻土几乎全以肌醇磷酸铁的形式存在(占 98% 左右)。造成三种有机肥料肌醇磷酸盐含量和形态差异的原因, 很可能是由饲料不同造成的。因牛主要以草和秸秆为饲料, 猪和鸡则主要

表 1 几种有机肥料和土壤的肌醇磷酸磷含量比较

Table 1 Comparison among the contents of inositol P in some organic manures and soils

样品种类 Sample type	全 P Total (mg/kg)	有机 P Org.P		肌醇磷酸 P Inositol P					
		总量 Total (mg/kg)	占全磷 InTIP <sup>1)</sup> (%)	总量 Total (mg/kg)	占有机 P In TPO (%)	肌醇磷酸钙、镁 P Ca Mg-inositol P		肌醇磷酸铁 P Fe-inositol P	
						(mg/kg)	(%)	(mg/kg)	%in TIP
猪粪 Pig feces	14330	6764	47.2	4960	73.3	4033	81.3	927	18.7
牛粪 Cattle feces	9240	2810	30.4	1251	44.5	425	34.0	826	64.0
鸡粪 Chicken feces	15270	8177	53.5	5531	67.6	4565	82.5	966	17.5
青紫泥 Degleyed dark paddy soil	680	169.7	25.0	104.0	61.3	2.7	2.6	101.3	97.4
红壤性水稻土 Paddy soil on red earth	487	130.1	26.7	77.7	59.7	1.6	2.1	76.1	97.9

1) TP——total P. TPO——total organic P TIP——total inositol P(下同)。

表 2 有机肥料和土壤中有机磷的分组

Table 2 Fractionation of organic P in organic manures and soils

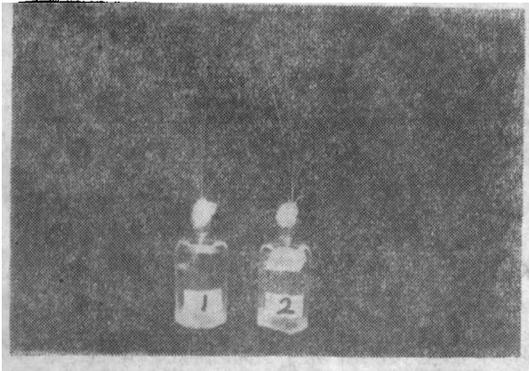
样品种类 Sample type	有机 P Organic P							
	活 性 Labile		中等活性 Moderately labile		中等稳定性 Moderately stable		高度稳定性 Highly stable	
	(mg/kg)	% in TPO	(mg/kg)	% in TPO	(mg/kg)	% in TPO	(mg/kg)	% in TPO
猪粪 Pig feces	1030	19.3	4508	66.6	707	10.5	359	5.3
牛粪 Cattle feces	546	19.4	759	27.0	708	25.2	760	27.0
鸡粪 Chicken feces	1521	18.6	5512	67.4	959	11.7	227	2.8
青紫泥 Degleyed dark paddy soil	22.9	13.5	17.8	10.5	106.6	62.4	36.2	21.3
红壤性水稻土 Paddy soil on red earth	14.5	11.2	8.8	6.8	76.7	59.0	29.9	23.0

以种子为饲料,而种子中的磷主要是肌醇六磷酸钙、镁盐。此外,因牛是反刍动物,可能也与动物的消化系统有关。同时,不难发现,尽管青紫泥和红壤性水稻土在有机磷和肌醇磷酸中的磷含量存在着较大差异,但在有机磷占全磷的比例、肌醇磷酸中磷占有有机磷的比例以及不同形态所占的比例方面都是十分一致的。

采用 R. A. Bowman 和 C. V. Cole 的方法对有机肥料和土壤进行了有机磷的分组,将其分成四组(表 2)。结果表明,在三种有机肥料中,虽然活性有机磷在含量上表现出较大差异,但各自占有有机磷总量的比例十分一致,均在 20% 左右;在中等活性有机磷占有有机磷总量上,三种有机肥料之间存在巨大差异,猪、鸡粪为 67% 左右,而牛粪只占 27%,即猪、鸡粪显著高于牛粪;中等稳定性有机磷在有机磷总量中所占的比例,猪、鸡粪都在 10% 左右,而牛粪占 25% 左右;在高度稳定性有机磷占有有机磷总量的比例中,牛粪高达 27%,猪、鸡粪只占 3~5%。换言之,猪、鸡粪中的有机磷是以活性和中等活性有机磷为主,而牛粪中活性有机磷和稳定性有机磷各占一半左右。从结果中不难发现,有机肥料中的肌醇磷酸钙、镁主要来自于中等活性有机磷,而肌醇磷酸铁主要来自于稳定性有机磷,这与贺铁等人<sup>[3]</sup>在土壤中得到中等活性有机磷很可能与肌醇六磷酸钙有关,稳定性有机磷很可能与肌醇六磷酸铁有关的结果是十分吻合的。由于肌醇六磷酸铁的矿化速率很低,而肌醇六磷酸钙的矿化速率较高<sup>[4]</sup>,因此,猪、鸡粪中的有机磷的有效性比牛粪高。在土壤中,有机磷主要以中等稳定性有机磷形态存在。因此,相比之下,可以得出这样一个结论,有机肥料中的有机磷的有效性比土壤高。

## (二) 肌醇六磷酸磷对水稻幼苗的营养效果

采用化学试剂肌醇六磷酸进行了水稻无菌培养试验,以国际水稻研究所无机完全培养液作对照,在等养分情况下,比较了肌醇六磷酸磷与无机磷的营养效果。结果指出,是项有机磷处理的水稻苗生长良好,培



1. 10mg/kg 无机磷 2. 10mg/kg 肌醇六磷酸 P  
图 1 肌醇六磷酸磷与无机磷对水稻的营养效果比较

Fig. 1 Effects of inositol 6-P and inorganic P on rice seedling growth

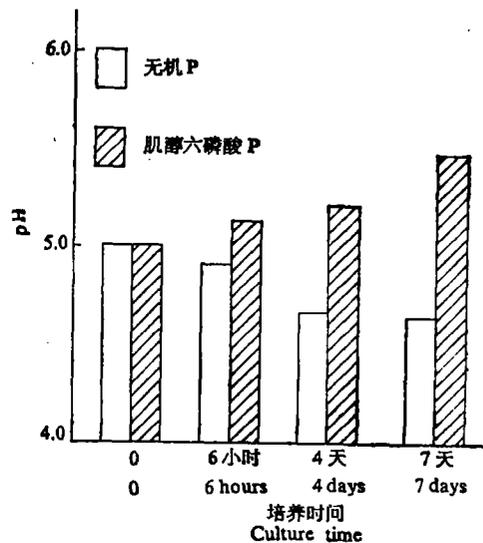


图 2 不同磷素培养液在不同时期 pH 的变化  
Fig. 2 pH changes of the P culture solutions at different stages

养三周后,水稻苗的净光合作用效率、气孔导度和干物质积累量均明显高于无机磷处理(图 1、表 3)。

表3 不同磷素营养对水稻苗干物质积累和光合作用的影响

Table 3 Influence of different P on the photosynthesis and dry matter accumulation of rice seedlings

处 理 Treatment	干物质积累量 Dry matter (g/plant)	净光合作用效率 Net photosynthetic rate ( $\mu\text{molCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )	气孔导度 Stomatal conductanc ( $\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )	蒸腾量 Transpiration rate ( $\text{molH}_2\text{O}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ )
无机 P Inorganic P	0.069	20.76	0.3492	0.0061
肌醇六磷酸 P Inositol 6-P	0.110	27.07	0.4286	0.0069

表4 水稻苗对肌醇六磷酸中 C 和 P 的吸收

Table 4 Absorption of C and P in inositol phosphate by rice seedlings

项 目 Item	培养前 Before culture	培养 3 天后 After 3 days culture	吸收量 (3 天) Quantity absorbed ( $\mu\text{g}/\text{plant}$ )	吸收率 Absorption rate (%)
肌醇六磷酸中 C 的量 C in inositol 6-P( $\mu\text{g}$ ) <sup>1)</sup>	1936	1646	290	15.0
肌醇六磷酸中 P 的量 P in inositol 6-P( $\mu\text{g}$ ) <sup>1)</sup>	5000	4185	815	16.3

1) 指 500ml 培养液中的 C、P 总量。

表5 水稻根系、土壤和有机肥料中肌醇六磷酸酶活性比较

Table 5 Activities of inositol hexaphosphatase in rice root soils and organic manures

水稻根系 <sup>1)</sup> Rice root		培养液 <sup>2)</sup> Culture solution <sup>2)</sup> ( $\mu\text{gP}/\text{ml}\cdot\text{h}$ )	土壤 Soils		有机肥料 Organic manure		
1 ( $\mu\text{gP}/\text{gFW}\cdot\text{h}$ )	2 ( $\mu\text{gP}/\text{gFW}\cdot\text{h}$ )		青紫泥 Degleyed dark paddy soil ( $\mu\text{gP}/\text{gDW}\cdot\text{h}$ )	红壤性水稻土 Paddy soil on red earth ( $\mu\text{gP}/\text{gDW}\cdot\text{h}$ )	猪 粪 Pig feces ( $\mu\text{gP}/\text{gDW}\cdot\text{h}$ )	牛 粪 Cattle feces ( $\mu\text{gP}/\text{gDW}\cdot\text{h}$ )	鸡 粪 Chicken feces ( $\mu\text{gP}/\text{gDW}\cdot\text{h}$ )
119.0	328.6	5.0	2.54	0.25	117.9	5.5	57.5

1) 1——直接法; 2——间接法。

2) 采用经水稻无磷培养 7 天的培养液进行酶活性测定。

通过对培养前和培养 3 天后培养液中的磷、碳总量变化的测定,发现水稻不但能吸收利用肌醇六磷酸中的磷,而且还能利用该分子中的碳架,且两者所吸收利用的比例较为一致(表 4)。这很可能是肌醇六磷酸磷处理的水稻生长明显优于无机磷处理的主要原因。

R.L. Halstead 等研究证明,由于肌醇六磷酸通过肌醇六磷酸酶的作用,可降解为肌醇 1—5 磷酸和肌醇,其中每一种肌醇磷酸盐又有许多种同分异构体<sup>[6]</sup>。因此,肌醇六磷酸中的磷究竟以那种形式被吸收利用,目前还不清楚。通过对水稻根系、有机肥料和土壤中的肌醇六磷酸酶活性测定,结果指出,水稻根系表面、内部以及有机肥料和土壤中均有肌醇六磷酸酶存在,而且,水稻根系还能分泌肌醇六磷酸酶进入培养液(表 5),这就提示

我们,通过肌醇六磷酸酶的水解作用,水稻再吸收水解下来的无机磷,这无疑水稻吸收利用肌醇六磷酸磷的另一途径。

在不同培养时间测定肌醇六磷酸磷和无机磷处理的培养液 pH 变化,发现无机磷处理的可使溶液 pH 下降,7 天后 pH 由 5.00 下降至 4.59,而肌醇六磷酸磷处理可使 pH 升高,由 5.00 升至 5.44 (图 2),这也可能是影响水稻生长的另一重要因素。

### 参 考 文 献

- [1] 孙羲, 1980: 农业化学。92页,上海科学技术出版社。
- [2] 严昶升, 1988: 土壤肥力研究法。193—201 页,农业出版社。
- [3] 贺铁,李世俊, 1987: Bowman-Cole 土壤有机磷分组的探讨。土壤学报,第 24 卷,2 期,152—159 页。
- [4] 郑洪元,张德生, 1982: 土壤动态生物化学研究法。212—214 页,科学出版社。
- [5] 张继宏,谭世文,刘晓砚,洪峰, 1988: 不同肥力土壤有机质氧化稳定性和有机磷组分的研究。土壤通报,(2)60—62 页。
- [6] Paul E. A. and A. Douglas Melaren. 1975: Soil Biochemistry. 4:p36—59.
- [7] Hesse, P. R. 1971: A Textbook of Soil Chemical Analysis. p298--299.
- [8] Bowman R. A. and C. V. Cole. 1978: An Exploratory Method for Fractionation of Organic Phosphorus from Grassland Soils. Soil Sci., 125(2): 95—101.
- [9] Sun Xi, Zhang Yongsong, Ying Qizhao, Tang Caixian. 1986: Effect of Organic Manure on Soil Fertility and Crop Production. Current Progress in Soil Research in People's Republic of China. p197—206.

## EFFECTS OF ORGANIC PHOSPHORUS IN ORGANIC MANURES AND PADDY SOILS ON RICE GROWTH

Sun Xi and Zhang Yongsong

(Zhejiang Agricultural University, 310029)

### Summary

The paper deals with the inositol hexaphosphate contents and fractionation of organic P from three kinds of organic manures and two kinds of paddy soils. The nutritional effect of inositol hexaphosphate on the growth of rice seedlings was compared with that of inorganic phosphorus at the same P level. Inositol hexaphosphate was the main form of organic P in the organic manures and paddy soils. In pig and chicken feces, Ca-or Mg-inositol hexaphosphate was up to 80% of the total organic phosphorus. However, in the paddy soils and cattle feces, Fe-inositol hexaphosphate was predominant in the total inositol phosphate. Fractionation of organic P indicated that the availability of organic P in organic manures was higher than that in soils. In aseptic culture, inositol hexaphosphate had a better effect on rice seedling growth than inorganic phosphorus.

**Key words** organic manure, Inositol 6-P, Organic P fractionation, Paddy rice, Aseptic culture, Phytase.