

# 猪粪和磷肥对石灰性土壤有机磷组分及有效性的影响\*

尹金来 沈其荣<sup>†</sup>

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

周春霖 洪立洲 王凯 奎海 王茂文

(江苏沿海地区农科所, 盐城 224002)

**摘要** 通过室温培养一盆栽试验研究了施用猪粪和磷肥(磷酸二氢钾)后石灰性土壤有机磷组分的变化及不同有机磷组分对黑麦草吸磷总量的贡献。结果表明,施用猪粪和磷肥显著地增加了活性、中活性和中稳性有机磷的含量,其中以中活性有机磷增量最大;活性和中活性有机磷对黑麦草吸磷总量直接贡献较大。活性、中活性和中稳性有机磷对黑麦草吸磷总量也有一定的间接贡献。按它们总的贡献可排序为:活性有机磷>中活性有机磷>中稳性有机磷。

**关键词** 石灰性土壤,猪粪,磷肥,有机磷组分,有效性

**中图分类号** S141, S153.6

有机磷和无机磷都是植物吸收利用的重要磷源,两种磷源对植物吸磷量的贡献大小主要取决于土壤、植物、肥料本身性状等因素<sup>[1]</sup>。自 Bowman R. A. 和 Cole C. V. 1978 年首次提出土壤有机磷分组测定方法以后<sup>[2~4]</sup>,80 年代以来国内土壤肥料工作者在土壤有机磷成分及其有效性研究方面取得了一定的进展<sup>[5~8]</sup>。但从总体上讲,这类报道并不多,特别是关于石灰性土壤有机磷的营养问题有许多工作仍待进一步深入研究,不仅如此,研究土壤有机磷不仅是农业生产的需要,而且对于环境保护和生态平衡亦具有重要意义<sup>[9]</sup>。因此,本文选择属于石灰性土壤的黄潮土为对象,研究比较了含磷有机肥(猪粪)和无机磷肥(磷酸二氢钾)对土壤有机磷组分变化的影响及各个组分对植物吸磷的贡献,以期阐明有机肥和无机磷肥对植物磷素营养和土壤供磷特征的影响机理。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

供试土壤分别采自射阳县丫头港农场、淮阴县农科所和响水县响南乡,其母质为黄泛冲积物。各土壤的基本性状见表 1。供试有机肥为纯猪粪,其风干物的全磷、速效磷和全氮分别为  $5.738 \text{ g kg}^{-1}$ 、

\* 国家自然科学基金重点项目(39830220)资助

<sup>†</sup> 通讯作者

收稿日期:2000-07-29;收到修改稿日期:2000-11-05

0.870g kg<sup>-1</sup>和 12.203g kg<sup>-1</sup>, 磷肥为磷酸二氢钾(分析纯), 供试植物为吸磷能力较强的黑麦草。

表 1 供试土壤的基本性状

Table 1 Some Properties of the soils used

土样号 Sample No.	土壤名称 Soil	CaCO <sub>3</sub> (%)	有机质 O. M. (g kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total P (g kg <sup>-1</sup> )	Olsen-P (mg kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total N (g kg <sup>-1</sup> )
1	黄潮沙土	10.28	5.07	0.512	4.06	0.372
2	黄潮淤土	12.54	14.13	0.562	26.5	1.104
3	黄潮油泥土	10.64	11.10	0.478	5.30	0.851

## 1.2 试验方法

试验采用二元回归设计, 每个供试土壤设 9 个处理, 2 个试验因子分别为磷肥和猪粪, 其用量代码均是 0、0.25、0.5、0.75 和 1, 猪粪用量范围在每钵 0~100g 风干物, 磷肥用量范围在每钵 0~400mg P, 9 个处理中的两种肥料(风干猪粪(g)/磷肥(mg P))用量依次为: 0/0、100/0、0/400、100/400、25/100、75/100、25/300、75/300、50/200。

选用口径 17cm、底径 13cm、高 15cm 的塑料钵, 每钵称取过 1mm 筛的风干土 2kg, 将风干猪粪与土壤充分混匀装钵, 再根据不同处理的磷肥用量吸取预先配制好的磷酸二氢钾溶液放入 1200ml 蒸馏水中, 摇匀后加入钵中, 让钵中土壤处于水分过饱和状态使磷素均匀分布。然后将土壤置于室温下培养, 并保持土壤水分在饱和持水量的 50%~70%。土壤培养起始日期是 1997 年 5 月 29 日, 120 天后(1997 年 9 月 24 日)从每钵采集 70g 湿润土壤, 风干处理后进行有机磷分组测定。9 月 26 日每钵移栽 10 天苗龄的黑麦草 10 株, 10 月 10 日每钵施含 0.4gN 的尿素水溶液。于 11 月 11 日、12 月 9 日、1998 年 1 月 4 日和 3 月 6 日先后分 4 次刈割植株地上部分(前 3 次刈割的第 2 日每钵追施 0.4gN 的尿素溶液), 经杀青、烘干、粉碎后测定含磷量。第 4 次刈割后, 采集土壤, 风干处理后进行有机磷分组测定。

土壤有机磷分组测定采用 Bowman-Cole 法<sup>[2,4]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 施用猪粪和磷肥对土壤有机磷组分的影响

Bowman-Cole 法根据土壤有机磷对植物有效性将其依次分为活性有机磷、中等活性有机磷、中稳性有机磷和高稳性有机磷 4 种组分<sup>[3]</sup>。本试验结果(见表 2)表明, 施用猪粪和磷肥培养 120 天后, 供试土壤有机磷前 3 个组分均明显增加, 其中以中活性有机磷增量最大, 中稳性有机磷次之。如当每钵一起施用 100g 风干猪粪 400mg P 的磷肥时, 淤土的中活性有机磷和中稳性有机磷分别增加了 95.47 和 52.29mg kg<sup>-1</sup>, 活性有机磷仅增加了 34.36mg kg<sup>-1</sup>。由此看来, 中活性有机磷和中稳性有机磷既是活性有机磷的库, 又是活性有机磷的源, 它们之间存在动态平衡关系。在本试验中高稳性有机磷的变化没有规律, 这与张亚丽、沈其荣等人<sup>[8]</sup>的研究结果相一致, 考虑到该组分的有效性也很低, 因此文中对其不再进行讨论。

将土壤有机磷的前 3 个组分消长总量(Y)与猪粪用量(x<sub>1</sub>)、施磷量(x<sub>2</sub>)进行二元回归分析得到 Y = a + b<sub>1</sub>x<sub>1</sub> + b<sub>2</sub>x<sub>2</sub> 方程模型, 方程各参数见表 3。表 3 中的 b<sub>1</sub> 表示每增施 1g 风干猪粪, 土壤有机磷组分总量增加 b<sub>1</sub>mg kg<sup>-1</sup>; 同理 b<sub>2</sub> 则反映每增施 1mg P 的磷

表 2 施用磷肥和猪粪后土壤有机磷组分的变化

Table 2 Changes in organic-P fractions of soils after addition of pig slurry and P fertilizer (P, mg kg<sup>-1</sup>)

土样号 Sample No.	有机磷组分 Organic-P fractions	试验处理水平 Treatment							
		风干猪粪/磷肥-P Pig slurry (g)/P fertilizer (mg P)							
		100/0	0/400	100/400	25/100	75/100	25/300	75/300	50/200
1	活性有机磷	0.83	2.80	5.79	3.76	4.11	5.65	6.20	3.78
	中活性有机磷	38.58	22.54	45.14	18.81	22.23	26.16	25.67	15.04
	中稳性有机磷	27.52	24.76	6.65	16.52	22.49	5.81	4.66	9.73
2	活性有机磷	8.33	5.42	34.36	23.20	12.91	7.64	8.86	5.41
	中活性有机磷	77.50	73.93	95.47	13.75	18.78	19.57	25.36	13.03
	中稳性有机磷	25.42	7.64	52.29	7.29	11.10	2.84	12.47	10.55
3	活性有机磷	5.66	2.80	28.40	2.03	3.34	5.68	5.71	1.81
	中活性有机磷	75.15	62.46	198.66	89.35	104.06	124.26	153.64	85.10
	中稳性有机磷	59.41	38.04	28.40	15.48	50.16	18.49	15.39	19.99

肥,土壤有机磷组分就相应增加  $b_2$  mg kg<sup>-1</sup>。每 1g 风干猪粪含全磷 5.73mg P, 可以认为 1g 风干猪粪相当于 5.73mg P 的磷肥, 因此比较磷肥和猪粪对增加土壤有机磷组分总量的作用只需根据  $b_1/b_2$  值的大小来判断。从表 3 来看, 沙土  $b_1/b_2 = 6.32$ , 大于 5.73, 说明在沙质石灰性土壤中, 施用猪粪对增加土壤有机磷组分总量的作用要大于施用等磷量的磷肥; 而在粘质石灰性土壤中, 则磷肥比猪粪能更多地转化为有机磷。

表 3 土壤有机磷消长总量与磷肥、猪粪用量的回归方程参数

Table 3 Parameters of the regression equation between the net increase in organic-P fractions of the soils and the amount of pig slurry &amp; P fertilizer applied

土样号 Sample No.	$a$ (mg kg <sup>-1</sup> )	$b_1$ (mg g <sup>-1</sup> )	$b_2$ (mg mg <sup>-1</sup> )	$R$ 值 $R$ value
1	13.55	0.489 5	0.077 5	0.881 5**
2	-48.85	1.335 7	0.272 7	0.807 6**
3	71.86	0.143 7	0.143 7	0.858 6**

## 2.2 不同土壤和处理的黑麦草吸磷总量

表 4 中的黑麦草吸磷总量为 4 次刈割的植株地上部分含磷量与根系含磷量之和, 该值可以反映土壤供磷能力<sup>[10]</sup>和试验处理的影响。本试验结果指出, 淤土的供磷能力最强, 故该土壤的所有处理下的黑麦草长势最好, 生物量和吸磷总量都最高。而沙土因成土时间短, 土壤生产能力低, 尤以供磷能力不足, 所以其绝大部分处理的黑麦草长势差, 吸磷总量低。不同处理对黑麦草吸磷总量的影响则表现为: 凡磷肥和猪粪施用量高的处理, 其黑麦草吸磷总量也相应较高, 最高的为同时施用 400mg P 磷肥和 100g 风干猪粪的处理。

将黑麦草吸磷总量( $Y$ )与猪粪( $x_1$ )、磷肥( $x_2$ )施用量进行二元回归分析发现, 它们之间的关系也符合方程  $Y = a + b_1x_1 + b_2x_2$ 。表 5 结果进一步说明了施用磷肥和猪粪对黑麦草吸磷总量的影响。沙土的磷肥施用量回归系数  $b_2$  为负值, 也就是说, 在该土壤上施用磷肥, 黑麦草吸磷总量不但没有增加, 反而有所减少。尽管这与实际情况可能不相符

合,但从另外一个方面说明了沙质土壤具有较好的通透性有利于猪粪的分解及其磷的释放,从而使得黑麦草吸收的磷就主要来自猪粪,这也是该土壤黑麦草吸磷总量较低的一个原因。淤土和油泥土的  $b_1/b_2$  均小于 5.73,可见在这 2 个粘质石灰性土壤中,黑麦草能从磷肥中吸收利用更多的磷。

表 4 黑麦草吸磷总量

Table 4 The total P uptake by rye grass (mg Pot)

土样号 Sample No.	试验处理 Treatment				猪粪/磷肥-P Pig slurry (g)/P fertilizer (mg P)			
	100/0	0/400	100/400	25/100	75/100	25/300	75/300	50/200
1	30.215	12.495	66.938	23.638	29.339	15.603	33.207	22.009
2	99.209	105.701	126.919	55.583	85.267	104.673	97.538	70.424
3	68.915	75.715	82.969	17.984	40.300	43.500	68.000	59.578

表 5 黑麦草吸磷总量与猪粪、磷肥施用量的回归方程参数

Table 5 Parameters of the regression equation between the total P uptake and amount of pig slurry and P fertilizer applied

土样号 Sample No.	$a$ (mg Pot <sup>-1</sup> )	$b_1$ (mg g <sup>-1</sup> )	$b_2$ (mg mg <sup>-1</sup> )	$R$ 值 $R$ value
1	14.41	0.132 0	- 0.016 2	0.943 4**
2	11.93	0.834 2	0.240 9	0.924 6**
3	- 26.80	0.919 3	0.246 6	0.932 9**

### 2.3 土壤有机磷各组分对黑麦草吸磷总量的贡献

被植物吸收的磷通常被认为是有效磷<sup>[10]</sup>。表 6 中的数据为黑麦草移栽前土壤有机磷组分测定值减去黑麦草最后一次刈割后土壤有机磷组分测定值,它可以直观地反映土壤有机磷各组分对黑麦草吸磷总量的贡献。本试验结果表明,黑麦草刈割 4 次后各供试土壤的活性有机磷、中活性有机磷和中稳性活性磷都有明显减少,其中中活性有机磷减少量最大,这与前文中施用磷肥和猪粪后土壤的中活性有机磷增量最大相对应。

表 4 中的黑麦草吸磷总量是依变量,表 6 中的土壤有机磷前 3 个组分的减少量应为自变量,由于这几个有机磷组分可以相互转化,即各个自变量彼此间存在一定的相关,所以本文采用通径分析的方法,目的是通过计算各个自变量对依变量直接贡献和间接贡献的大小<sup>[11]</sup>。从本试验的通径分析结果(见表 7)可以看出,活性有机磷和中活性有机磷对黑麦草吸磷总量的直接效应(直接贡献)都比较大,中稳性有机磷的直接贡献因土壤的不同而有明显差异。沙土的前 2 个有机磷组分对黑麦草吸磷总量的直接贡献比其余 2 个供试土壤要大得多,这与前面提到的在沙土中猪粪对黑麦草吸磷总量作主要贡献的结果相吻合。另外,3 个有机磷组分对黑麦草吸磷总量也具有一定的间接效应(间接贡献)。综合分析认为,这 3 个有机磷组分对黑麦草吸磷总量的贡献大小依次可以排列为:活性有机磷> 中活性有机磷> 中稳性有机磷,这一结果符合 Bowman 和 Cole 有机磷分组理论<sup>[2,4]</sup>。

表 6 黑麦草种植前后土壤有机磷组分的变化

Table 6 Changes in organic- P fractions of the soils after growing rye grass (mg kg<sup>-1</sup>)

土样号 Sample No.	有机磷组分 Organic- P fractions	试验处理水平 Treatment				风干猪粪/磷肥- P Pig slurry (g) / P fertilizer (mg P)			
		100/0	0/400	100/400	25/100	75/100	25/300	75/300	50/200
		1	活性有机磷	0.36	7.62	22.17	8.22	11.20	15.44
	中活性有机磷	66.27	56.33	84.87	67.56	59.90	35.02	21.91	19.05
	中稳性有机磷	20.06	19.66	9.43	0.69	12.63	4.61	-	0.72
2	活性有机磷	6.47	2.84	16.40	0.89	2.84	3.30	-	8.68
	中活性有机磷	29.97	95.93	191.95	45.93	44.31	32.11	-	20.08
	中稳性有机磷	21.22	18.24	48.82	3.11	14.03	3.61	13.84	4.65
3	活性有机磷	5.27	4.67	-	1.16	1.42	3.16	2.21	1.04
	中活性有机磷	59.93	49.71	-	16.25	19.11	24.33	19.58	15.99
	中稳性有机磷	0.71	21.12	9.63	9.69	9.95	3.61	2.43	1.63

表 7 黑麦草吸磷总量与土壤有机组分减少量的途径分析

Table 7 Path analysis of total P uptake of rye grass and decrease in organic- P fractions in the soils

土样号 Sample No.	直接效应 Direct effect			间接效应 Indirect effect		
	活性有机磷 Liable organic- P	中活性无机磷 Moderately Liable organic- P	中稳性无机磷 Liable organic- P	活性有机磷 Liable organic- P	中活性有机磷 Moderately Liable organic- P	中稳性有机磷 Moderately Stable
	1	0.693 4	0.640 6	0.018 3	0.013 3	0.014 4
2	0.107 8	0.182 9	0.018 3	0.058 8	0.195 0	0.084 2
3	0.488 5	0.168 4	- 0.102 9	0.161 1	0.467 4	0.122 2

## 参 考 文 献

1. 沈善敏. 论我国磷肥生产与应用对策(一). 土壤通报, 1985, 16(3): 97~ 103
2. Boman R A. Cole C V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland. Soil Sci., 1978, 125: 95~ 101
3. 贺铁, 李世贤. 土壤有机磷组法的探讨. 土壤学报, 1987, 24(2): 152~ 159
4. 严昶升. 土壤肥力研究方法. 北京: 农业出版社, 1988. 196~ 201
5. 何振立, 袁可能, 朱祖祥. 评价土壤磷素植物有效性的物理化学指标. 土壤学报, 1991, 28(3): 302~ 308
6. 莫淑勋, 钱菊芳, 钱承梁. 猪粪等有机肥料中磷素养分循环再利用的研究. 土壤学报, 1991, 28(3): 309~ 315
7. 孙羲, 章永松. 有机磷肥和土壤中的有机磷对水稻的营养效果. 土壤学报, 1992, 29(4): 365~ 369
8. 张亚丽, 沈其荣, 曹翠玉等. 有机肥料对土壤有机磷组分及生物有效性的影响. 南京农业大学学报, 1998, 21(3): 59~ 63
9. 莫淑勋. 有机肥料中磷及其与土壤磷素肥力的关系. 土壤学进展, 1992, 3: 1~ 9
10. 尹金来, 曹翠玉, 史瑞和. 磷肥在石灰性土壤中的形态转化及有效性. 土壤通报, 1989, 29(3): 14~ 16
11. 莫惠栋. 农业试验统计. 上海科学技术出版社, 1984. 537~ 545

## EFFECTS OF PIG SLURRY AND PHOSPHATIC FERTILIZER ON ORGANIC- P FRACTIONS AND THEIR AVAILABILITIES

Yin Jīn-lai, Shen Qī-rong

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agri. Univ., Nanjing 210095)

Zhou Chun-lin Hong Li-zhou Wang Kai Ding Jīn-hai Wang Mao-wen

(Agri. Res. Inst. Jiangsu Coastal Area, Yancheng 224002)

### Summary

Incubation and pot experiments were conducted to study changes in organic- P fractions in calcareous soils after application of pig slurry and monopotassium phosphate (MPP) and their contributions to P uptake by rye grass. The results indicated that: (1) Liable, moderately liable and moderately stable organic- P of soils increased markedly after the application of pig slurry and MPP, with the middle one being mostly increased; (2) The liable and moderately liable organic- P made greater direct contribution to the total amount of P uptake by rye grass and all the three organic- P fractions had some indirect contribution; (3) Based on their comprehensive effects on the amount of P uptake by rye grass, the three organic- P fractions ranked in such order: liable organic- P > moderately liable organic- P > moderately stable organic- P.

**Key words** Calcareous soil, Pig slurry, Phosphatic fertilizer, Organic- P fraction, Availability