

猪粪和磷肥对石灰性土壤无机磷 组分及有效性的影响

尹金来¹, 沈其荣¹, 周春霖², 洪立洲², 王 凯², 丁金海², 王茂文²

(¹南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; ²江苏省盐城市农业科学研究所, 盐城 224000)

摘要:通过室温培养一盆栽试验研究了施用猪粪和磷肥后石灰性土壤无机磷组分的变化以及不同无机磷组分对黑麦草吸磷量的贡献。结果表明, 施用猪粪和磷肥显著地提高了石灰性土壤 Ca₂-P、Ca₈-P 含量, Al-P 和 Fe-P 也有一定的增加, 其中磷肥的影响大于猪粪; Ca₂-P 和 Ca₈-P 对黑麦草吸磷总量的直接贡献和间接贡献都大于 Al-P 和 Fe-P。

关键词:石灰性土壤; 猪粪; 磷肥; 无机磷组分; 有效性

中图分类号: S141. 2; S143. 2; S153. 61 **文献标识码:** A **文章编号:** 0578-1752(2001)03-0296-05

Effects of Pig Slurry and P Fertilizer on Inorganic-P Fractions of Soils and Their Availabilities

YIN Jin-lai¹, SHEN Qi-rong¹, ZHOU Chun-lin², HONG Li-zhou²,
WANG Kai², DING Jin-hai², WANG Mao-wen²

(¹College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095;

²Yancheng Agricultural Research Institute, Jiangsu Province, Yancheng 224000)

Abstract: Incubation and pot experiments were carried out to study the changes of inorganic-P fractions in calcareous soils after application of pig slurry and P fertilizer and their contribution to the amount of P uptake by rye grass. The results indicated that: Application of pig slurry and P fertilizer increased the contents of Ca₂-P and Ca₈-P significantly and Al-P and Fe-P slightly. P fertilizer, however, showed greater effect on the increment of inorganic-P fractions than pig slurry; The direct and indirect contribution of Ca₂-P and Ca₈-P to total amount of P uptake by rye grass was higher than that of Al-P and Fe-P.

Key Words: Calcareous soil; Pig slurry; P fertilizer; Inorganic fraction; Availability

20 世纪 80 年代末以来, 随着石灰性土壤无机磷分级测定方法的提出^[1,2], 国内研究人员在石灰性土壤无机磷组分及有效性的研究方面取得了许多进展^[3~6], 为石灰性土壤的磷肥合理运筹提供了决策依据。然而, 有关土壤无机磷的分级及其各组分与植物有效磷供应的定量关系报道甚少。本研究采用了二元回归设计, 通过土壤室温培养和盆栽试验研究施用含磷有机肥(猪粪)和无机磷肥(磷酸二氢钾)对石灰性土壤无机磷组分变化的影响以及不同无机磷组分对植物吸磷量的贡献, 为石灰性土壤上如何

好磷肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤分别为黄潮淤土(采自淮阴县农科所)、黄潮两合土(采自响水县响南乡)、黄潮沙土(采自响水县运河乡), 其母质均为黄泛冲积物。3 种土壤的 CaCO₃ 含量分别为 125g/kg、88.6g/kg 和 93.3g/kg, 有机质含量分别为 14.1g/kg、7.30g/kg 和 3.62g/kg, 全氮含量分别为 1.10g/kg、0.53g/kg 和

收稿日期: 2000-05-08

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(39830220)和江苏省应用基础课题(BJ96006)的部分研究内容

作者简介: 尹金来(1959-), 男, 江苏淮安人, 在职博士生, 江苏省盐城市农业科学研究所副研究员, 主要从事土壤-植物磷素营养。沈其荣为本文通讯联系人。Tel: 025-4395212; E-mail: sheng@njau.edu.cn

0.35g/kg,全磷含量分别为0.65g/kg、0.52g/kg和0.51g/kg, Olsen-P含量分别为26.5mg/kg, 4.80mg/kg和2.50mg/kg。供试有机肥料为纯猪粪,其风干物的全氮、全磷和速效磷分别是12.2g/kg、5.74g/kg和871mg/kg,磷肥为磷酸二氢钾(A.R.),供试植物为吸磷素较强的黑麦草。

1.2 方法

试验采用二元回归设计,每个供试土壤设9个处理,2个试验因子分别为猪粪和磷肥,其用量代码均是0.00、0.25、0.50、0.75和1.00,猪粪用量范围在每钵0~100g风干物,磷肥用量范围在每钵0~400mgP。9个处理中的两种肥料(风干猪粪/磷肥)用量(g/mgP)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加入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以使磷素均匀分布。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,120d后(1997年9月24日)从每钵采集70g湿润土壤,风干处理后进行无机磷分级测定。9月26日每钵移栽10d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、以及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天每钵追施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,风干处理后进行无机磷分级测定。

土壤无机磷分级测定采用顾益初、蒋柏藩(1990)法^[2]。

2 结果与分析

2.1 供试土壤基本性状

从本试验土壤性状来看,淤土的全磷、有效磷(Olsen-P)含量最高,两合土次之,沙土最低,相应地各土壤的CaCO₃、有机质和全氮含量分布情况也一样,这在黄潮土中很普遍。一般情况下,对于长期施用磷肥或有机肥的黄潮土来说,质地愈粘,全磷、有效磷含量愈高,这主要是粘质土壤比砂质土壤能吸附更多的磷所致。

2.2 施用猪粪和磷肥后土壤无机磷组分的变化

先前的研究表明,石灰性土壤中的Ca₁₀-P

都没有因处理不同产生明显的消长^[3,5],这与其溶解度极低和在土壤中相对稳定等因素有关,故文中只讨论无机磷6个组分中的前5个组分的变化情况。

表1中的数据为施用猪粪和磷肥培养120d后土壤无机磷组分测定值减去原始土壤测定值的净消长量。从本试验可以看出,施用猪粪和磷肥对增加石灰性土壤的Ca₂-P和Ca₈-P含量作用都十分明显。如当每钵一起施用100g风干猪粪和400mgP磷肥时,淤土的Ca₂-P和Ca₈-P相应增加了187和154mgP/kg,在3个供试土壤中为最高。另外,施用猪粪和无机磷肥对提高石灰性土壤的Al-P和Fe-P水平也有一定的作用。而O-P组分总体上没有明显的消长规律,这可能是因为土壤培养时间较短和O-P化学测定误差客观存在之影响。作者曾对连续9年17茬作物施用有机肥后的石灰性土壤无机磷组分进行过测定,结果发现O-P消长明显,说明要看出石灰性土壤O-P的变化趋势,需要有较长时间跨度^[5]。尽管如此,本试验还是可以看出施用猪粪和无机磷肥对石灰性土壤无机磷组分变化的影响顺序为:Ca₂-P>Ca₈-P>Al-P>Fe-P>O-P。

将各供试土壤无机磷组分的消长总量(Y)与猪粪用量(X₁)、施磷量(X₂)进行二元回归分析发现,它们之间符合 $Y=a+b_1x_1+b_2x_2$ 方程,各土壤的回归方程参数列于表2。由表2可见,施用猪粪和无机磷肥对土壤无机磷组分消长总量的影响都达到了极显著水平。b₁值表示每钵增施1g风干猪粪,土壤无机磷组分总量就增加b₁μgP/g,同样,b₂值则反映无机磷肥的作用。表2中的b₁和b₂都比较高,说明不仅施用磷肥对提高石灰性土壤无机磷组分总量的作用大,而且施用猪粪对此作用也相当明显。每1g风干猪粪含全磷5.73mgP,也可认为1g风干猪粪相当于5.73mgP的无机磷肥,故要比较猪粪和无机磷肥对增加土壤无机磷组分总量的作用大小,可以根据b₁/b₂来判断。本试验中只有淤土的b₁/b₂=7.22(>5.73),表明在该土壤中施用猪粪对增加土壤无机磷组分总量的作用比施用等磷量的磷肥作用要大得多,而其余2个土壤则表现出施用磷肥的作用更明显。

2.3 不同土壤和处理的黑麦草吸磷总量

表3中的黑麦草吸磷总量为4次刈割的植株地上部磷总量与根系磷总量之和,该值可以反映不同土壤供磷能力^[7]和试验处理的影响。本试验结果指出,淤土的供磷能力最强,故该土壤所有处理的黑麦草长势最好,生物量和吸磷总量都最高。至于不同处

表 1 施用猪粪和磷肥后土壤无机磷组分的变化

Table 1 Changes of P fractions of soils after application of pig slurry and P fertilizer(mgP/kg)

土样号 Sample No.	无机磷组分 P Fractions	风干猪粪/无机磷肥 Pig slurry /P fertilizer(g/mgP)								
		0/0	100/0	0/400	100/400	25/100	75/100	25/300	75/300	50/200
1	Ca ₂ -P	2.82	86.2	50.4	186	45.8	103	111	165	110
	Ca ₈ -P	51.1	131	743	154	564	49.0	95.7	124	91.7
	Al-P	9.04	-6.06	3.73	47.6	47.2	64.2	33.5	61.6	54.8
	Fe-P	5.71	45.0	19.4	6.45	8.47	-13.3	2.31	4.54	3.04
	O-P	-23.1	31.1	-24.9	30.0	-10.1	3.77	7.52	16.9	-63.9
	消长总量 Total amount	45.6	288	117	425	148	207	251	373	196
2	Ca ₂ -P	4.77	58.0	70.5	125	33.4	74.0	77.9	101	60.2
	Ca ₈ -P	1.25	34.1	35.3	127	16.4	20.0	39.9	69.0	40.0
	Al-P	-0.91	21.1	25.3	46.0	7.27	45.8	48.7	30.8	21.6
	Fe-P	-8.08	23.4	9.23	46.8	-1.29	4.24	-4.18	3.02	4.94
	O-P	-32.2	15.6	0.41	12.9	-1.25	-4.69	15.7	1.01	-19.4
	消长总量 Total amount	-35.2	152	141	375	54.6	139.4	178	205	196
3	Ca ₂ -P	-0.61	65.4	60.2	146	34.8	89.0	91.6	126	75.3
	Ca ₈ -P	9.31	51.4	69.0	135	18.7	24.3	43.2	90.2	54.5
	Al-P	-7.94	28.5	18.1	39.0	6.75	43.5	23.9	34.1	24.9
	Fe-P	-5.04	33.5	43.5	45.7	5.59	35.0	10.2	32.9	9.10
	O-P	-2.28	19.3	1.37	26.4	63.5	25.6	16.6	45.9	8.00
	消长总量 Total amount	-6.56	198	192	392	129	217	186	329	172

表 2 土壤无机磷消长总量与磷肥、猪粪用量的回归方程参数

Table 2 The parameters of regression equation between net increase of P fractions of the soils and pig slurry & P fertilizer applied

土样号 Sample No.	a	b ₁	b ₂	R 值 R value
1	16.1	2.68	0.37	0.9268**
2	51.1	1.91	0.49	0.9605**
3	9.90	2.02	0.46	0.9734**

**相关性达 0.01% 水准, 下同 ** Relation being of 0.01% significance. The same as below

表 3 黑麦草吸磷总量

Table 3 The total P uptake of rye grass (mgP/pot)

土样号 Sample No.	风干猪粪/无机磷肥 Pig slurry /P fertilizer(g/mgP)								
	0/0	100/0	0/400	100/400	25/100	75/100	25/300	75/300	50/200
1	35.3	99.2	105	126	55.3	85.3	104.7	97.5	70.4
2	0.56	57.5	54.4	73.4	26.4	46.7	30.1	60.0	41.5
3	0.46	62.6	28.2	73.1	25.2	69.9	52.3	42.4	39.6

理对黑麦草吸磷总量的影响亦由表 3 显而易见, 凡猪粪和无机磷肥施用量高的处理, 其黑麦草吸磷总量也相应较高, 最高的为每钵同时施用 100g 风干猪粪和 400mgP 磷肥的处理。

将黑麦草吸磷总量与猪粪、磷肥用量进行二元回归分析得方程 $Y = a + b_1x_1 + b_2x_2$, 所有方程 R 值均达极显著水平。表 4 结果进一步说明了施用猪粪和磷肥对黑麦草吸磷总量所产生的影响。比较 b_1/b_2

表 4 黑麦草吸磷总量与猪粪、无机磷肥施用量的回归方程参数

Table 4 The parameters of regression equation between total P uptake and amount of pig slurry & P fertilizer applied

土样号 Sample No.	a	b ₁	b ₂	R 值 R value
1	11.9	0.83	0.24	0.9246**
2	-4.95	0.62	0.13	0.9286**
3	14.4	0.52	0.04	0.8133**

可以发现,沙土的 $b_1/b_2=11.8(>5.73)$,表明在该土壤上黑麦草从猪粪中吸收的磷要多于从磷肥中吸收的磷,这是因为沙土具有较好的通透性,有利于有机肥料的矿化和磷的释放。淤土和两合土的 b_1/b_2 均小于 5.73,就是说在这 2 个土壤中,黑麦草从磷肥中吸收了更多的磷。

2.4 土壤无机磷各组分对黑麦草吸磷总量的贡献

植物吸收的磷被认为是有效磷^[7]。表 5 中的数据为黑麦草移栽前土壤无机磷组分测定值减去黑麦草最后一次刈割后土壤无机磷组分测定值,这一差值可以直观地反映土壤无机磷各组分对黑麦草吸磷总量的贡献。本试验结果表明,种植黑麦草后各土壤的 Ca_2-P 、 Ca_8-P 、 $Al-P$ 以及 $Fe-P$ 都明显减少,其中以 Ca_2-P 和 Ca_8-P 减少量最大,这就说明前 2 个无机磷组分被植物吸收利用得多,后 2 个组分被植物吸收利用得相对较少。 $O-P$ 在黑麦草种植前和 4 次刈割后没有明显的变化。

表 3 中的黑麦草吸磷总量是依变量,与其对应的表 5 中的土壤无机磷前 4 个组分减少量应为自变量,由于这几个无机磷组分可以相互转化^[8],即各个

自变量彼此间存在相关,所以本文采用了通径分析方法,目的是通过计算各个自变量与依变量之间的通径系数,来反映各自变量对依变量直接贡献和间接贡献的大小^[9]。从表 6 可以清楚地看出,土壤无机磷各组分对黑麦草总吸磷量的直接效应(直接贡献)以 Ca_2-P 和 Ca_8-P 较大;而 $Al-P$ 和 $Fe-P$ 的直接贡献不甚明显。土壤无机磷组分对黑麦草吸磷总量的间接效应(间接贡献)亦是 Ca_2-P 和 Ca_8-P 较大,同时 $Al-P$ 和 $Fe-P$ 对黑麦草吸磷总量也有比较明显的间接贡献,说明后 2 个无机磷组分具有一定的生物有效性,但其对黑麦草吸磷总量的贡献多是通过转化成有效性更高的 Ca_2-P 和 Ca_8-P 而起作用的。因此,可以认为在供试的石灰性土壤中 Ca_2-P 和 Ca_8-P 是植物吸收利用的主要磷源。王永和、曹翠玉等人(1993)就石灰性土壤中不同无机磷组分对植物的有效性的贡献进行过线性相关分析,得出与本试验相同的结论,即 Ca_2-P 、 Ca_8-P 、 $Al-P$ 和 $Fe-P$ 都有贡献,其中主要是前 2 个组分^[4]。另外,冯固、杨茂秋等人(1996)用³²P 示踪法研究石灰性土壤不同形态无机磷对玉米吸磷量的贡献,也得到了类似的结果^[8]。

表 5 黑麦草种植前后土壤无机磷组分的变化

Table 5 Changes of P fractions of soils after growing rye grass(mgP/kg)

土样号 Sample No.	无机磷组分 P fractions	风干猪粪/无机磷肥 Pig slurry/P fertilizer (mgP/g)							
		100/0	0/400	100/400	25/100	75/100	25/300	75/300	50/200
1	Ca_2-P	33.9	17.8	25.3	12.5	29.3	41.1	27.8	29.5
	Ca_8-P	3.60	10.7	13.4	5.58	10.6	7.73	10.6	2.46
	$Al-P$	9.12	12.8	-2.97	9.12	3.75	-2.17	7.57	0.25
	$Fe-P$	17.5	9.12	3.75	6.72	-1.28	5.17	-	7.60
	$O-P$	29.9	-37.4	-11.7	-18.1	-21.0	11.4	0.34	-41.0
2	Ca_2-P	11.3	8.11	73.9	5.04	2.45	-	11.2	12.3
	Ca_8-P	7.50	8.75	39.4	2.16	2.44	4.35	11.6	12.6
	$Al-P$	-4.14	6.56	1.24	1.27	13.1	21.3	-1.26	2.30
	$Fe-P$	-1.04	-10.6	11.3	9.41	3.86	-8.47	-12.8	1.90
	$O-P$	-1.26	4.16	4.15	-13.44	-4.20	15.5	-12.5	-24.6
3	Ca_2-P	14.7	15.2	27.3	-	25.7	20.5	15.9	14.6
	Ca_8-P	1.25	5.59	48.1	0.76	3.80	2.41	5.61	13.5
	$Al-P$	6.31	0.78	-1.23	0.51	11.0	5.44	-0.62	5.54
	$Fe-P$	0.78	17.8	17.5	5.25	33.1	6.20	7.64	-2.82
	$O-P$	-	-1.20	-8.33	37.8	8.40	-8.36	8.17	-8.21

表 6 黑麦草吸磷总量与土壤无机组分减少量的通径分析

Table 6 Path analysis of total P uptake to decrease of inorganic-P in the soils

土样号 Sample No.	直接效应 Direct effect				间接效应 Indirect effect			
	Ca_2-P	Ca_8-P	$Al-P$	$Fe-P$	Ca_2-P	Ca_8-P	$Al-P$	$Fe-P$
1	0.33	1.14	-0.33	0.84	0.19	0.06	0.41	0.02
2	0.28	0.67	0.14	-0.50	0.64	0.26	-0.04	0.21
3	1.04	0.04	0.14	-0.20	0.05	0.57	0.22	0.69

3 结论

供试土壤中质地愈粘,全磷、有效磷含量愈高。施用猪粪和无机磷肥对石灰性土壤无机磷组分变化的影响顺序为:Ca₂-P>Ca₈-P>Al-P>Fe-P>O-P。施用磷肥和施用猪粪均能显著提高石灰性土壤无机磷组分的含量,从而增加黑麦草对磷的吸收,本试验土壤中的Ca₂-P和Ca₈-P对黑麦草吸磷总量的直接贡献和间接贡献都大于Al-P和Fe-P,进一步研究石灰性土壤上钙磷的形态转化及其它们在土壤中滞留的时间以及土壤环境对它们的影响将是一项十分有意义的工作。

References:

- [1] Jiang B F, Gu Y C. Studies on P fraction system in calcareous soil[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1989, 22(3): 58-66. (in Chinese)
蒋柏藩,顾益初. 石灰性土壤无机磷分级体系的研究[J]. *中国农业科学*, 1989, 22(3): 58-66.
- [2] Gu Y C, Jiang B F. Methods of determination of inorganic P fractionation in calcareous soil[J]. *Soils*, 1990, 2(2): 101-102. (in Chinese)
顾益初,蒋柏藩. 石灰性土壤无机磷分别的测定方法[J]. *土壤*, 1990, 2(2): 101-102.
- [3] Yin J L, Zhou C L, Hong L Z, et al. Effects of water and straw on the transformation of soil P in calcareous soil[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1994, 17(1): 65-70. (in Chinese)
尹金来,周春霖,洪立洲,等. 水分和秸秆对石灰性土壤磷素形态转化影响的研究[J]. *南京农业大学学报*, 1994, 17(1): 65-70.
- [4] Wang Y, Cao C Y, Shi R H, et al. Effects of combined application of organic manure and inorganic fertilizer on P providing ability of calcareous soil[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1993, 16(4): 36-42. (in Chinese)
王永和,曹翠玉,史瑞和,等. 石灰性土壤有机—无机肥配施对土壤供磷的影响[J]. *南京农业大学学报*, 1993, 16(4): 36-42.
- [5] Yin J L, Zhou C L, Hong L Z, et al. Transformation of organic P and its availability in calcareous soil under long term rotation of wheat and cotton[J]. *Journal of Jiangsu Agricultural Science*, 1999, 15(1): 34-37. (in Chinese)
尹金来,周春霖,洪立洲,等. 长期棉麦轮作下石灰性土壤无机磷形态转化及有效性研究[J]. *江苏农业学报*, 1999, 15(1): 34-37.
- [6] Cao C Y, Wang Y H, Fei Y H, et al. Effects of organic manure on P providing ability of calcareous soil[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1992, 15(4): 117-119. (in Chinese)
曹翠玉,王永和,费乙晖,等. 有机肥料对石灰性土壤供磷影响的研究[J]. *南京农业大学学报*, 1992, 15(4): 117-119.
- [7] Yin J L, Cao C Y, Shi R H. Transformation of P fertilizer and its availability in calcareous soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1989, 20(3): 14-16. (in Chinese)
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[J]. *土壤通报*, 1989, 20(3): 14-16.
- [8] Feng G, Yang M Q, Bai D S, et al. Studies on P forms and their availabilities in calcareous soil using ³²P technique[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1996, 33(3): 301-307. (in Chinese)
冯固,杨茂秋,白灯莎,等. 用³²P示踪法研究石灰性土壤磷素的形态及有效性变化[J]. *土壤学报*, 1996, 33(3): 301-307.
- [9] Mo H D. *Statistics for Agricultural Experiments*[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1984: 537-545. (in Chinese)
莫惠栋. *农业试验统计*[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1984: 537-545.