

# 有机肥料的磷素组成及供磷能力评价

王旭东<sup>1</sup>, 胡田田<sup>1</sup>, 李全新<sup>2</sup>, 李祖荫<sup>1</sup>, 张一平<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学, 陕西杨陵 712100; 2. 武功农业科研中心, 陕西杨陵 712100)

**摘要:** 选用 3 类 8 种有机肥料, 在研究其磷素构成的基础上, 采用盆栽生物试验, 对不同有机肥料的供磷能力进行了研究。结果表明, 粪肥和秸秆类中以无机磷为主, 绿肥中以有机磷为主。有机肥中的有机磷, 其组成主体为中稳性和中等活性有机磷, 活性有机磷占有机磷总量一般都在 10% 以下; 高稳性有机磷在秸秆和绿肥中含量甚少, 未超过 4%, 在粪肥中相对较高, 有的可达 20%。高 C/P 比的秸秆类, 在施用当季供磷能力最差, 导致小麦生物学产量比对照低, 其供磷效果在第 2 季表现明显; 而 C/P 比小的粪肥和鲜嫩绿肥, 其供磷效果在第 1 季表现最明显, 第 2 3 季供磷能力下降。秸秆类处理, 磷累计利用率明显低于化学磷肥, 而粪肥和绿肥处理, 磷累计利用率与化学磷肥相当, 有些还略高于化学磷肥。

**关键词:** 有机肥料; 磷素组成; 有机磷分组; 供磷能力

中图分类号: S141.4 文献标识码: A 文章编号: 1004-1389(2001)03-0063-04

## A Evaluation on the Phosphorus Component of Organic Materials and Its Phosphorus Supply Capacity

WANG Xu-dong<sup>1</sup>, HU Tian-tian<sup>1</sup>, LI Quan-xin<sup>2</sup>, LI Zu-yin<sup>1</sup>, ZHANG Yi-ping<sup>1</sup>

(1. Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling Shaanxi 712100, China; 2. Wugong Agricultural Research Center, Yangling Shaanxi 712100, China)

**Abstract** In this paper, eight organic materials belonging to three groups (straw, green manure and manure) were selected, on the basis of analysis of P component, pot experiment was used for studying the P supply capacity of different kinds of organic materials. The results showed that inorganic P was the main proportion in manure and straw, while organic P was one major in green manure. Organic P in organic materials mainly consisted of moderately labile and moderately resistant O<sub>2</sub>P. The proportion of labile O<sub>2</sub>P to total organic P was generally 10% of below. Highly resistant O<sub>2</sub>P was very low in straw and green manure and did not exceed 4%, but it was a little high in manure, which reached 20% in sheep manure. Straw with high C/P ratio had the lowest P supply capacity in the present season of application, which lead to the reduction of wheat biomass production. Its effect of P supply was significant in the second planting, but the effect of P supply of manure and young green manure was significant in the present season of application, and was decreased in the second and third planting. The total phosphorus utilization ratio of straw was lower than that of chemical phosphate fertilizer, but for manure and green manure, it was the same level as the chemical phosphate fertilizer.

**Key words** Organic manure; Phosphorus component; Organic phosphorus fractionation; Phosphorus supply capacity

有机肥料中的磷素构成至今还不十分清楚<sup>[1]</sup>。传统认为, 有机肥料中的磷以有机态为主,

\* 收稿日期: 2001-03-04

作者简介: 王旭东 (1965-), 男, 土壤学博士, 副教授, 从事土壤化学方面的研究工作。电话: (029) 7092475

但近年来的一些研究表明,粪肥中的磷以无机态为主<sup>[2]</sup>。有机肥料对磷营养的供应归纳起来也有3种观点:一种观点认为<sup>[3]</sup>,有机肥中磷有效性较高,其利用率高于矿质磷肥(普钙),前者可达40%左右,后者仅为20%~30%。另一种观点则认为<sup>[4]</sup>,有机肥中磷有效性低于无机磷肥,大约为普钙的70%左右,将化学磷肥与有机肥堆沤施用,一般不会提高其利用率,其原因是部分无机磷转化为有机磷,有机磷的有效性不如无机磷高。第3种观点认为<sup>[2]</sup>,粪肥中的磷主要是无机磷,其有效性与化学磷肥基本相当。本文选用3大类(粪肥、绿肥和秸秆类)8种有机肥料,在研究其磷素构成的基础上,对不同有机肥料供应小麦磷素养

分的功效进行了研究

## 1 材料与amp;方法

供试土壤为粪土,质地粘壤,含有机质11.2 g/kg, CaCO<sub>3</sub> 53.0 g/kg, 全磷(P) 0.578 g/kg,有效磷4.1 μg/g pH8.2

有机肥料选用3类8种:粪肥类为猪、羊粪;绿肥类为绿豆秸和苜蓿秸;秸秆类为小麦秸、玉米秸、豌豆秸和油菜秸。均采自本校农场。除绿豆秸为盛花期采样外,其它秸秆均为完全成熟后采收。粪肥为新鲜烘干样。其主要化学组成见表1。化学磷肥选用普钙(宝鸡磷肥厂产,含水溶性磷100 g/kg)。

表1 供试有机肥料的主要化学组成

Table 1 Main chemical component of applied organic materials

种类 Variety	碳 C g/kg	氮 N g/kg	磷 P g/kg	有机磷 Organic P		无机磷 Inorganic P		C/N	C/P
				g/kg	%	g/kg	%		
小麦秸 Wheat straw	449.36	5.51	0.57	0.27	47.37	0.30	52.63	81.55	788.35
玉米秸 Corn straw	404.52	9.12	1.04	0.49	47.12	0.55	52.88	44.36	388.96
油菜秸 Rape straw	419.71	11.72	1.07	0.36	33.64	0.71	66.36	35.81	392.25
豌豆秸 Pea straw	406.28	10.34	1.19	0.48	40.34	0.71	59.66	39.29	341.41
苜蓿秸 Alfalfa straw	368.33	22.23	1.53	0.80	52.23	0.73	47.77	16.57	240.67
绿豆秸 Green gram straw	372.12	21.24	2.59	1.58	61.00	1.01	39.00	17.52	143.68
猪粪 Hog manure	381.40	18.81	5.49	2.49	45.36	3.00	54.64	20.27	69.47
羊粪 Sheep manure	268.05	16.17	5.52	2.03	36.78	3.49	63.22	16.58	48.56

采用盆栽试验,每盆装风干土3.5 kg,共设10个处理。即分别施用供试的8种有机肥料作为磷源(秸秆、绿肥类加入量为20 g/kg风干土,粪肥类加入量为10 g/kg风干土),用纤维素或尿素调节C/N为20:1,于播前一个月施入盆中,另加对照(不施磷)和施化学磷肥(17.5 mg-P/kg风干土)2个处理,重复3次。所有处理均以尿素和硫酸钾为底肥,加入量均为0.25 g/kg,此外,还补充了适量的硼砂、硫酸锌、硫酸亚铁等微量元素。一次施肥后(仅指有机肥和磷肥)于1990~1992年连续3 a种植冬小麦,均于次年小麦抽穗前收割,60℃烘干称重。

有机肥中有机磷的分组测定采用Bowman和Cole<sup>[5]</sup>法,全磷测定采用常规分析方法,无机磷测定采用0.2 mol/L HCl浸提法<sup>[6]</sup>。

## 2 结果与amp;讨论

### 2.1 有机肥料中磷类的组成特点

供试3大类8种有机物料的全磷量(表1)以粪肥类为最高,绿肥类次之,秸秆类最低。粪肥和秸秆中的磷以无机磷为主,平均占全磷的58.23%,绿肥中则以有机磷为主,平均占全磷的56.6%。粪肥中猪粪的有机磷所占比例大于羊粪的,这与猪以食精饲料为主,而羊以食草为主有关。绿肥中鲜嫩的绿豆秸有机磷所占比例明显大于成熟的苜蓿秸,这说明有机物料中磷素构成除与有机物料种类有关外,还与采样时期秸秆的鲜嫩程度有关。8种有机物料的C/P比大小顺序为秸秆类>绿肥类>粪肥类,与全磷含量顺序相反。

### 2.2 有机肥料中有机磷的组成

Bowman和Cole根据有机磷有效性大小将土壤有机磷分为活性、中活性、中稳性和高稳性4组,这给土壤有机磷的研究提供了一种新途径。本研究利用该方法对有机肥料中的有机磷进行了分组。

表 2 有机肥料中有机磷组成

Table 2 Organic phosphorus component of organic materials

种类 Variety	活性有机磷 Labile O. P		中活性有机磷 Moderately labile O. P		中稳性有机磷 Moderately resistant O. P		高稳性有机磷 High resistant O. P		四组有机磷之和 Sum of the four group O. P	
	ug/g	%*	ug/g	%*	ug/g	%*	ug/g	%*	ug/g	%**
	小麦秸 Wheat straw	22.4	9.1	118.1	47.8	103.5	41.9	2.8	1.1	246.8
玉米秸 Corn straw	32.5	7.5	200.8	46.7	187.5	43.6	8.9	2.1	429.7	87.6
油菜秸 Rape straw	22.5	6.7	151.4	45.7	157.5	46.9	4.3	1.2	335.7	93.25
豌豆秸 Pea straw	53.4	11.8	156.1	34.5	231.2	51.1	11.4	2.5	452.1	94.19
苜蓿秸 Alfalfa straw	51.7	7.6	193.5	26.7	453.4	62.5	26.8	3.6	725.4	90.6
绿豆秸 Green gram straw	96.0	6.7	1045.3	73.1	287.6	20.1	0.3	~	1429.2	90.5
猪粪 Hog manure	177.1	9.2	1068.0	55.5	541.8	28.2	135.2	7.0	1922.1	77.2
羊粪 Sheep manure	173.9	9.1	689.4	36.1	640.5	33.4	408.5	21.3	1912.3	94.2

\* 为占 4组有机磷之和的百分数, Percent of the sum of the four group O. P. \*\* 为占有有机磷的百分数, Percent of organic P.

由表 2 看出,不论粪肥类还是秸秆和绿肥类,按 Bowman 和 Cole 法测定的活性有机磷占有有机磷比例一般都在 10% 以下,构成有机磷的主要是中等活性有机磷和中稳性有机磷。在绿肥和秸秆类物质中,高稳性有机磷仅占 4% 以下。在粪肥中,羊粪的高稳性有机磷所占比例较高(21.3%),而猪粪的较低(7.0%)。高稳性有机磷随动物种类、饲料不同而不同。

Bowman 和 Cole 认为<sup>[7]</sup>,4组有机磷之和可代表有机磷总量。本研究表明,除猪粪较低外,4组有机磷总和占有有机磷比例多在 90% 以上,平均占 91.7%,因此,Bowman 和 Cole 土壤有机磷分级方法可以用来分析秸秆、绿肥以及以食草为主的动物粪肥中的有机磷构成,而对于以食用精饲料为主的动物粪肥如猪粪,则分析结果较低,4组有机磷之和仅占其有机磷总量的 77.2%。

表 3 不同施肥处理小麦生物学产量\*

Table 3 Biomass production of winter wheat with different treatments

g/pot

处理 Treatment	第 1 季 The first planting	第 2 季 The second planting	第 3 季 The third planting	总产量 Total production
小麦秸 Wheat straw	5.06	12.35	9.85	27.26
油菜秸 Rape straw	6.39	16.82	13.59	36.80
玉米秸 Corn straw	7.25	15.15	11.73	34.13
对照 Control	9.05	7.63	6.45	23.13
豌豆秸 Pea straw	10.66	19.82	15.37	45.85
苜蓿秸 Alfalfa straw	15.60	21.40	15.86	52.86
磷肥 Phosphate treatment	15.66	13.89	12.03	45.58
猪粪 Hog manure	24.17	23.62	21.32	69.11
绿豆秸 Green gram straw	24.22	25.65	18.45	68.32
羊粪 Sheep manure	25.15	24.51	22.26	71.92

3% L. S. D. = 1.71 1% L. S. D. = 2.32\* 表中生物学产量为 3 次重复的平均 Biomass production is the average of three replications

随着种植季数增加,对照和化学磷肥处理的小麦生物学产量呈下降趋势。对照处理相邻两季间虽有减产,但差异不显著;磷肥处理各季间产量下降均达显著水平,但仍比对照高,差异达极显著水平。

对于秸秆处理,和第 1 季相比,第 2 季小麦生

## 2.3 有机肥料中磷的有效性

### 2.3.1 不同有机肥料对小麦生物学产量的影响

各处理第一季小麦的生物学产量(表 3)和对照相比,施用化学磷肥有显著的增产作用,差异达极显著水平。施用小麦秸、玉米秸和油菜秸,不仅未增产,相反还有不同程度减产,差异达显著或极显著水平。施用豌豆秸,其生物学产量较对照有所增加,但差异未达显著水平。施用猪粪、羊粪、绿豆秸和苜蓿秸的 4 个处理,均有极显著的增产效果。结合表 1 各有机肥料的 C/P 比可知,C/P > 300 以上的有机肥料,在施用当季会造成小麦生物学产量下降,这与 C/P 大的有机物料在施用当季磷的生物固定大于矿化<sup>[9]</sup>,从而不能很好地提供磷素营养有关。而 C/P < 250 的有机物料,在施用当季,磷的矿化大于生物固定<sup>[9]</sup>,能够较好地作为作物提供磷素营养,使小麦的生物学产量明显提高。

生物学产量明显增加,且高于对照,差异达极显著水平。第 3 季和第 2 季相比,小麦生物学产量下降,但仍然高于对照。这说明高 C/P 的秸秆类物质,在后季作物,尤其是第 2 季中有较好的供磷能力,这与秸秆类物质施入土壤后,随着时间推移有机磷的逐步矿化有关。

对于绿肥类,苜蓿秸处理的小麦生物学产量变化趋势与秸秆类相似,绿豆秸稍有变化,即第2季小麦生物学产量比第1季增加,但差异不显著,说明C/P较小的绿豆秸在第1季已基本具有最好的供磷能力。

对于粪肥处理,随种植季数增加,小麦生物学

产量呈下降趋势,第1-3季之间差异达极显著水平(仍高于对照),与化学磷肥变化趋势相同。说明粪肥施入土壤后以第1季供磷能力最好,这与粪肥类C/P小、磷的生物固定较弱而矿化较强有关,也与粪肥中无机磷较多有关。

表4 不同处理小麦植株含磷量及吸磷量

Table 4 The phosphorus content and absorption amount of wheat

处理 Treatment	第1季 The first planting		第2季 The second planting		第3季 The third planting		每盆施磷量 P application (mg/盆)	磷累计利 用率* Total utilization ratio (%)
	植株含磷量 P content (g/kg)	吸磷量 P uptake (mg/盆)	植株含磷量 P content (g/kg)	吸磷量 P uptake (mg/盆)	植株含磷量 P content (g/kg)	吸磷量 P uptake (mg/盆)		
小麦秸 Wheat straw	0.952	4.817	1.113	13.745	1.098	10.815	40.197	17.330
玉米秸 Corn straw	1.000	7.248	1.151	17.430	1.132	13.278	72.750	23.371
油菜秸 Rape straw	0.965	6.166	1.242	20.890	1.201	16.322	75.196	27.886
豌豆秸 Pea straw	1.05	11.218	1.258	24.933	1.186	18.229	83.144	38.452
苜蓿秸 Alfalfa straw	1.170	18.258	1.353	28.954	1.196	18.968	106.987	40.910
绿豆秸 Green gram straw	1.441	34.904	1.438	36.884	1.423	26.254	181.26	41.726
猪粪 Hog manure	1.550	37.467	1.462	34.532	1.356	28.910	192.27	40.823
羊粪 Sheep manure	1.467	40.196	1.461	35.809	1.362	30.318	193.056	43.466
对照 Control	0.990	8.969	0.958	7.310	0.951	6.13	—	—
磷肥 Phosphate treat	1.148	17.986	1.135	15.765	1.129	13.581	61.135	40.767

\* 磷累计利用率 = [(各施肥处理总吸磷量 - 对照总吸磷量) / 每盆施磷量] × 100% Total P utilization ratio = [(total P absorption - control P uptake) / P application per pot] × 100%

总的看来,3季小麦的生物学产量以粪肥类处理为最高,秸秆类处理最低,绿肥类居中,和对照相比,除小麦秸外增产均达极显著水平。绿肥类中鲜嫩绿豆秸处理总产量与猪粪处理相近。

2.3.2 有机肥料中磷的利用率 表4显示,不同施肥处理,小麦植株的含磷量有一定差异,小麦生物学产量高者,其含磷量一般也高,吸磷量也多,植株含磷量和吸磷量之间呈极显著正相关( $r=0.9749^{**}$ ,  $n=30$ )。对于磷肥处理,3季小麦磷的累计利用率为40.77%。小麦秸、玉米秸和油菜秸磷的累计利用率明显低于化学磷肥,平均为22.20%;粪肥类、绿肥类以及豌豆秸处理,其磷的累计利用率与化学磷肥基本相当,有的还略高于化学磷肥,平均为41.08%。因此,有机肥中磷的利用率大小不能一概而论,这与有机肥的种类、C/P大小有密切关系,对于C/P小的粪肥、绿肥类,其磷的利用率与化学磷肥相当或略高于化学磷肥;而对于C/P高的秸秆类,磷的利用率则低于化学磷肥。

参考文献:

[1] 蒂斯代尔 S L, 纳尔逊 W L. 土壤肥力与肥料 [M]. 孙廷秀

等译. 北京: 科学出版社, 1984. 378~396.

- [2] 莫淑勋. 猪粪等有机肥料中磷素养分循环再利用的研究 [J]. 土壤学报, 1991, 28(3): 309~315.
- [3] 蒋仁成, 厉志华. 有机肥、无机肥在提高黄潮土肥力中的作用研究 [J]. 土壤学报, 1990, 27(2): 179~185.
- [4] 文启孝. 有机肥料在养分供应和保持土壤有机质含量方面的作用 [A]. 赵其国主编. 中国土壤学会论文集(下册). 北京: 农业科学出版社, 1983. 43~47.
- [5] 李和生, 李昌纬. 施肥对磷素在红油土中形态及分布的影响. 西北农业学报, 1995, 4(3): 77~80.
- [6] Bowman R A, Cole C V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soil [J]. Soil Sci., 1978, 125: 95~101.
- [7] Bromfield S M. Sheep feces in relation to the phosphorus cycle under pasture [J]. Aust. J. Agric. Rts., 1961, 12: 117~123.
- [8] Bowman R A, Cole C V. Transformation of organic substrates in soil as evaluated by  $\text{NaHCO}_3$  extraction [J]. Soil Sci., 1978, 125: 49~55.
- [9] 贺铁, 李世俊. Bowman-cole土壤有机磷分组法探讨 [J]. 土壤学报, 1987, 24(2): 152~159.
- [10] 王旭东. 有机肥对土壤有机磷形态及速效磷动态的影响 [A]. 徐明岗主编. 现代土壤科学研究(第五届全国青年土壤工作者会议论文集) [C]. 北京: 农业科学出版社, 1994. 257~260.