

磷肥低量施用制度下土壤磷库的发展变化

I. 土壤总磷库和有机、无机磷库*

宇万太 陈欣 张璐 廉鸿志 殷秀岩 沈善敏

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 110015)

摘要

在辽西碳酸盐褐土上进行的9年试验表明,平均每年每公顷施用相当或略低于作物收获产品中含磷量的化肥磷(P)14.4kg,既可持续地保持较高的作物产量,又可保持耕层土壤的总磷库贮量几乎不变,甚至有微小增长,其增长部分主要是有机磷;施用磷肥结合80%收获产品喂猪、猪粪回田,则既可保持作物丰产又可显著提高耕层土壤的有机磷含量;连续施氮肥而不施磷肥可使该贫磷土壤耕层总磷库贮备显著下降。与富磷土壤不同,9年中该土壤对作物的供磷主要来自耕层的非活性磷库,而来自土壤活性磷库(树脂法测定)则只占12%。经估算,约90%的作物吸收磷来自耕层土壤。

关键词 磷肥低量施用,全磷,有机磷,无机磷

一组磷肥低量施用的中、长期田间试验在辽宁西部碳酸盐褐土上经过第一个施肥周期6年试验,表明可保持较高的作物产量,玉米平均单产每公顷超过9吨、高粱8吨、大豆超过2.4吨^[1]。但就农业持续发展的目标而言,低投入施肥技术是否可被接受尚需审视这一技术对土壤肥力的长期影响^[2]。本文主要讨论作物产量及土壤磷库的发展变化。

1 研究方法

1.1 田间试验

田间试验在应用生态所位于辽宁喀左县的下河套工作站进行。试验地为一贫磷的碳酸盐褐土,速效磷(P)(0.5mol/L NaHCO₃浸提)4.5mg/kg。试验起自1983年,设4个处理,重复3次,分别种植大豆、玉米、高粱,并逐年依次轮作。施肥处理如下:

I 对照,不施磷;

II 磷肥每年小剂量,年施磷量P14.4kg/ha;

III 磷肥每6年一次大剂量,1983年首次施用,1989年第二次施用,一次施磷量P86.4kg/ha,为处理II年施磷量的6倍;

* 国家自然科学基金资助项目。

收到修改稿日期: 1995-07-02

IV 磷肥用量同处理 III, 同时, 本处理每年收获籽实的 80% 和大豆、玉米秸秆的全部经粉碎后喂猪和垫圈, 猪粪经堆腐后于翌年春季作基肥返回本处理。因此, 本处理自 1984 年起每年施用猪圈肥, 其中养分含量按 N、P 在饲养—堆腐过程中的循环率^[3]和每年收获 N、P 量计算, 平均每年为 N85kg/ha 和 P12kg/ha。

供试作物除大豆外, 玉米、高粱均每年追施氮肥(尿素), 用量 N150kg/ha。有关田间试验的其他细节以及试验地土壤理化性质等可参阅文献[1]。

1.2 土壤分析样品选择和测试方法

1.2.1 土壤样品选择 除速效磷测定选用每年各处理小区收获后耕层土壤样品外, 其他分析项目选择以下时间采集的耕层土壤样品:

1983 年 4 月, 本底, 田间试验开始前;

1988 年 10 月, 第一个 6 年施肥周期结束, 作物收获后;

1991 年 10 月, 第二个施肥周期的第 3 年, 作物收获后。

1.2.2 土壤及植物分析方法 土壤有机磷: 灼烧法; 土壤无机磷: 减差法; 土壤活性磷: 阴离子树脂交换法(平衡 24 小时)。

1.3 猪粪腐解试验

选取新鲜猪粪球 6 个, 其中 3 个 70℃ 烘干 8 小时, 粉碎后供分析用; 另 3 个分装 3 个磨口瓶中, 加盖, 在室温下令其自然腐解, 每半月开盖换气一次并补充水分以保持湿润, 7 个月后 70℃ 烘干 8 小时, 粉碎后测定全磷、全氮、0.2mol/L HCl 酸溶性磷(无机磷)、有机磷和有机碳, 设定猪粪腐解前后含全磷总量为不变值计算全氮、有机碳和无机磷含量。

猪粪全磷用高氯酸-硫酸消解, 钼黄比色法; 无机磷用 0.2mol/L HCl 浸提^[6]; 有机磷用全磷减去无机磷; 全氮用铬粒-硫酸消解, 蒸馏法; 有机碳用 550℃ 灼烧失重法。

2 结果与讨论

2.1 作物产量及收获磷量

表 1 不同施肥处理大豆、玉米、高粱 9 年(1983—1991)平均风干产量(kg/ha)

Table 1 Average yields of soybean, maize and sorghum from different fertilization treatments in 1983—1991

处理 Treatment	大豆 Soybean		玉米 Maize		高粱 Sorghum	
	籽实 Grain	秸秆 Stalk	籽实 Grain	秸秆 Stalk	籽实 Grain	秸秆 Stalk
	I	1470	1620	7120	6020	5660
II	2020	2330	9670	7570	7960	8120
III	1970	2300	9460	7470	7940	7980
IV	2480	2720	10660	8970	8860	8810

表 1、表 2 及图 1 分别列出了 3 种供试作物的 9 年平均产量、历年收获磷量及作物相对产量在 9 年中的发展变化, 从中可以看出:

(1) 试验设计中的 3 种低量磷肥处理经过 9 年实验可进一步证明作物产量均能达到(玉米、高粱)或接近(大豆)丰产水平, 大豆因试验后期受根腐病影响, 故产量偏低。每年低剂量(处理 II)和每 6 年一次大剂量(处理 III)两种施磷方式的作物增产效果并无显著差别而以前者略好。施用磷肥同时配合 80% 收获产品喂猪、猪粪回田(处理 IV), 可获得作物高产, 玉米每公顷超过 10 吨, 高粱接近 9 吨, 大豆接近 2.5 吨。连续 9 年只施氮肥不施磷肥(处理 I)玉米、高粱单产分别也可达到每公顷 7 吨和 5.6 吨, 不过从以后的讨论中可以看到, 维持这一产量是以不断“用空”土壤有效磷库为代价, 这显然是不能持久的。

表 2 不同施肥处理作物收获产品中含磷量(P kg/ha)

Table 2 Phosphorus content in crop products from different fertilization treatments

处理 Treatment	年 份 Year									9 年收获磷量 P harvested in nine years	平均年收获磷 Annual P harvestes	以对照为 100 With control as 100
	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991			
I	10.47	10.55	13.53	10.31	8.76	6.64	7.80	6.79	8.47	83.32	9.26	100
II	15.01	14.34	17.38	15.86	15.13	12.77	12.75	13.17	14.45	131.36	14.60	158
III	16.43	16.05	16.80	15.49	13.51	10.62	13.80	12.96	14.70	130.36	14.48	156
IV	16.43	20.32	23.23	22.65	19.69	17.70	17.92	17.40	18.70	174.04	19.34	209

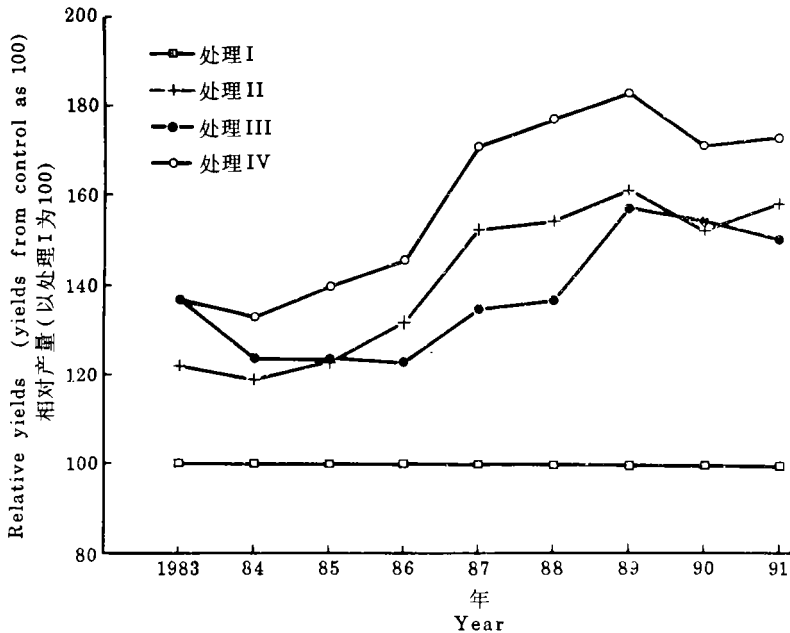


图 1 不同磷肥处理作物产量变化趋势(3 年滑动平均, 以处理 I 产量为 100)

Fig. 1. The trends of crop yields from different fertilization treatment in 1983—1991

(Average yields sliding from every three years and crop yields from control as 100)

(2) 以不施磷处理的作物产量为恒定作图(图 1), 可清楚展现 3 种施磷制度的作物增产幅度随试验年限延长而增长的趋势, 处理 IV 尤为明显, 由此可表明磷肥在这一土壤上持

续的残效迭加效应。短期试验显然不能观察到磷肥增产的这一持续迭加作用,因而对于磷肥的利用率和作物增产效果时常低估。

(3) 出自同理,当季磷肥对作物供磷的表观贡献随施肥年限的延长而不断增长,例如,由表2处理II可算出施肥第一年作物收获磷中的70%来自土壤磷,来自磷肥仅占30%,当季磷肥利用率31%;试验第9年收获磷中59%来自土壤,而来自当季磷肥可占41%,当季磷肥表观利用率为42%。根据9年资料平均估算,单独施用低量磷肥时作物收获磷中的63%来自土壤,37%来自磷肥;磷肥配合施用猪圈肥(处理IV),则收获磷的48%来自土壤,52%来自磷肥和猪圈肥。猪圈肥的施用似乎不仅增加了磷的给源,而且显著提高了作物吸自施入肥料中磷的比率。

2.2 土壤总磷库及有机、无机磷库

表3、表4分别列出了试验开始前(1983年4月)和第9年(1991年)各处理耕层土壤有机磷、无机磷的分析结果以及猪粪堆腐前后碳、氮、磷的分析结果。由于猪粪在腐解过程中显著失重,便以猪粪腐解前后全磷含量为恒定计算腐解后干物残存量,并进一步计算其他元素残存量或损失量。可以看出,经7个月腐解,猪粪中有机碳损失了38%,氮损失了15.7%,干重损失了28.3%,后者应包括氧和氢的损失在内。有趣的是,猪粪中的有机磷含量(并非浓度)在堆腐前后几无变化或仅略有减少,或许可说明有机磷不易矿化或在矿化过程中又形成新的有机磷。对于表3、表4可进一步讨论如下:

(1) 连续9年只施氮肥不施磷肥(处理I)可使耕层土壤的总磷库明显减少,1991年与1983年比较,全磷浓度(P)下降了 $31.8\text{mg}/\text{kg}$,或折算为每公顷耕层(0—20cm、容重1.2)土壤中的总磷(P)贮量减少了 76.3kg ,约相当于9年中作物收获磷量(83.3kg)的91%。由此可以认为,作物吸自土壤中的磷主要来自耕层,包括耕层土壤中的作物残茬、落叶、施入肥料的残留磷以及耕层土壤中磷的风化释放,耕层以下土壤对于作物的供磷显然不起重要作用。9年中耕层土壤有机磷含量几乎保持不变而无机磷浓度明显下降,因而可进一步认为作物吸收的土壤磷主要来自土壤无机磷库。

表3 1983—1991不同施肥制度下耕层土壤有机、无机及总磷库变化(P mg/kg)

Table 3 Changes of soil organic, inorganic and total phosphorus pools in soil cultivated layer from different fertilization treatments in 1983—1991

处理 Treatment	无机磷 Inorganic P			有机磷 Organic P			总磷 Total P		
	1983	1991	增减 Changes	1983	1991	增减 Changes	1983	1991	增减 Changes
I	496	466	-30	59	57	-2	555	523	-32
II	498	497	-1	58	63	+5	556	560	+4
III	495	513	+18	59	64	+5	554	577	+23
IV	501	516	+15	62	73	+11	563	589	+26

(2) 比较处理II 9年中的磷收支,作物收获磷(P) $131.4\text{kg}/\text{ha}$, 施入肥料磷(P) $129.6\text{kg}/\text{ha}$, 大致收支平衡而仅有微小赤字。考虑到尚有少量的磷供给来自耕层以下土

壤,因此,9年后耕层土壤全磷浓度略有增高亦在情理之中。处理Ⅲ9年中收获磷(P)130.4kg/ha,施入磷(P)172.8kg/ha,施入高于收获,因此耕层土壤全磷浓度也有较显著的提高。处理Ⅱ、Ⅲ耕层土壤中的有机磷浓度比试验开始时有所提高,可归因于施肥提高了作物产量和作物体内的含磷浓度^[4],从而增加了通过根茬和落叶归还农田的有机磷量。

(3)与处理Ⅲ比较,磷肥和猪圈肥并用(处理Ⅳ)可显著提高耕层土壤中的磷贮量,增长部分似乎主要是有机磷,无机磷仅有微小增加。猪圈肥中磷90%为无机磷,有机磷仅占10%,因此,上述现象只能理解为猪圈肥中的有机磷较难矿化,易于在土壤中积累;而猪粪中的无机磷主要是水溶性磷,有效性高,易于为作物所利用。此外,处理Ⅳ作物产量高,每年通过落叶、根茬而归还土壤的有机磷也可能较处理Ⅲ为多。

2.3 不施磷肥情况下土壤速效磷、活性磷和非活性磷库变化

土壤中磷大致可按其有效性定量地区分为土壤溶液中磷、活性磷(Labile P)和非活性磷(Non-labile P)^[7]。Olsen(1983)^[8]分别用同位素交换法和树脂法测定了23种土壤的活性磷,发现两者的测定结果十分一致且与作物吸收磷量相近似,故本文用树脂法测定结果表征土壤活性磷。土壤速效磷可视为活性磷的一部分。土壤全量磷减去活性磷便是土壤非活性磷,结果如表5所示。

表5列出的结果与Johnston的研究结果颇不相同^[9]。9年中由于作物吸收而使耕层土壤的全磷浓度(P)减少了31.8mg/kg或总贮量(P)减少了76.3kg/ha,其中的88.3%来自非活性磷库,而来自活性磷库和速效磷库则分别只占11.7%和8.1%。Olsen^[8]的短期栽培实验表明,作物平均吸收磷量的87%相当于树脂法测定的土壤活性磷。Johnston^[9]的长期田间观测表明,在无肥条件下,作物吸收磷的一半来自活性磷库。不过该作者测定土壤活性磷采用的是同位素法且试样与³²P反应平衡的时间为一周,其测定值当然要高于反应平衡为24小时者。

本试验地在历史上从未施用过含磷化肥,土壤中尚未形成通过持续施用磷肥而建立起来的较大的有效磷库,因此在长时间只施氮肥、不施磷肥情况下,作物被迫利用非活性磷库的磷贮备,其结果便与在施用过磷肥、已形成较宏大有效磷库的土壤上的试验结果有着很大的不同。

参 考 文 献

1. 沈善敏、殷秀岩、张璐,1992:农业系统中磷肥残效及磷循环研究 I.作物吸磷量、磷肥残效及土壤有效磷库变化。应用生态学报,第3卷2期,138—143页。
2. 沈善敏,1994:土壤科学与农业持续发展。土壤学报,第31卷2期,113—118页。
3. 殷秀岩、张璐、宇万太、沈善敏,1992:农业系统中磷肥残效及磷循环研究 III.投料中磷和氮在饲养一堆腐环中的循环率及有机肥料中养分的利用率。应用生态学报,第3卷3期,236—239页。
4. 张璐、殷秀岩、廉鸿志、沈善敏,1992:农业系统中磷肥残效及磷循环研究 II.磷及其他养分在作物体内分配。应用生态学报,第3卷3期,231—235页。
5. 沈善敏,1985:论我国磷肥生产与应用对策。土壤通报,第16卷3期,97—103页。
6. 莫淑勋、钱菊芳、钱承梁,1991:猪粪等有机肥料中磷素养分循环再利用的研究。土壤学报,第28卷3期,309—315页。
7. Larsen, S. 1976: Soil phosphorus. Adv. Agron. 19:101—210.

8. Olsen, S. R., 1983: Evaluation for fertilizer phosphate residues by plant uptake and extractable phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 952—958.
9. Johnston, A. E. and Poulton, P. R., 1977: Yields on the exhaustion land and the changes in the NPK content of the soils due to cropping and manuring 1852—1975. Rothamsted Report for 1976, part 2; 53—85.

CHANGES OF SOIL PHOSPHORUS POOL UNDER LOW-INPUT PHOSPHORUS FERTILIZATION SYSTEM

I. SOIL TOTAL, ORGANIC AND INORGANIC PHOSPHORUS POOLS

Yu Wantai Chen Xin Zhang Lu Lian Hongzhi
Yin Xiuyan and Shen Shanmin

(*Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, 110015*)

Summary

The results from a nine years' field experiment on a calcic cinnamon soil indicated that the annual input of P 14.4kg/ha which is a little lower than the phosphorus harvested each year, had not only kept higher crop yields but also maintained the soil total phosphorus pool and with a little increase of soil organic phosphorus in cultivated layer. In the treatment with nutrients in 80% of harvested products recycled every year through a feeding-composting cycle combined with phosphorus fertilizer applied, the crop yields and the soil organic phosphorus content both considerably increased after nine years. There was a significant decrease of soil total phosphorus from the plot receiving nitrogen but no phosphorus fertilizer, a large proportion of phosphorus provided to crops was from soil non-labile phosphorus pool, but only 12% of phosphorus from labile phosphorus pool when the soil is lack of phosphorus. Calculation indicated that about 90% of the P taken up by crops was from soil cultivated layer.

Key words Low-input phosphorus, Total P, Organic P, Inorganic P