

《中国土壤磷素养分潜力概图》及其说明*

蒋柏藩 鲁如坤 李庆逵

(中国科学院南京土壤研究所)

《中国土壤磷素养分潜力概图》是以一千万分之一的《中国土壤图》为底图,收集国内有关单位的资料¹⁻⁵⁾(中国科学院南京土壤研究所,1978;熊毅等,1965)整理后编制而成。又缩影成一千八百万分之一。解放以来,我国土壤化学和农业化学工作者,在土壤磷素养分和磷肥方面进行了大量的工作,积累了一定的资料,为编制本图奠定了基础。但由于资料的平衡性和系统性不够,所以编制过程中仍有不少困难,尤其是西部和西北部地区,收集的资料较少,有待进一步补充和修改。

本图主要反映与土壤磷素养分潜力有关的四个方面内容。即土壤磷素的形态组成、土壤全磷含量、磷肥效应和适用的磷肥品种。此外,还标出了可以直接作为磷矿粉肥使用的磷块岩矿的分布地区。在这几个参数中,土壤磷素的形态组成与土壤类型及其分布规律最为相关。因此,我们基本上以土类或亚类为基准,划分六种不同的磷素形态组成作为主要的分界线,在图中以大号数字表示。全磷含量、适用磷肥品种及磷肥效应则分别用小号数字和符号顺次脚注。

土壤磷素形态可以分成有机态和无机态磷两大部分。有机态磷的进一步分级,方法还不成熟,一般以总量表示。无机态磷又分成非闭蓄态磷和闭蓄态磷,前者包括钙、铝和铁的磷酸盐,后者主要是铁磷酸盐,也还有少量的铝和钙的磷酸盐。

土壤有机磷的含量与土壤有机质含量成正相关。有些地区报道了这两者的相关方程³⁾, (中国科学院土壤研究所,1964)。随着有机质的矿化,有机磷被转化成无机磷,作物即可吸收利用这部分磷素。所以有机质高的土壤,可能提供的磷素养分潜力应该高。在我国东北和西藏高原等地区,发育于森林或草原植被下的大部分土壤,有机磷含量占全磷的50—80% (在一般土壤中,有机磷量约占全磷的20—50%),全磷含量也很高,因此这些土壤中磷素养分的潜力,相对比较就属于最高。但这仅仅是指磷素潜力而言。因为东北地区,有机磷的矿化条件较差,对一个生长季来说,土壤本身的有机磷所能提供的有效磷是不多的。只有在开垦初期,原来的平衡条件被破坏,随着有机质的迅速分解,可以在一定期限内提供相当数量的有效性磷。

在无机态磷的非闭蓄态部分中,以原生矿物形态存在的磷酸钙盐主要是氟磷灰石和

* 参加编制工作的还有朱荫溥和时正元。

1) 中国农业科学院土壤肥料研究所,1963: 土壤肥料科学研究资料汇编,第二号。

2) 中国科学院西藏综合考察队,1970: 西藏土壤。

3) 中国科学院林业土壤研究所,1977: 东北土壤。

4) 辽宁省农业科学院,1973: 磷肥肥效研究。

5) 彭祥林等,1965: 关于壤土磷素状况和磷肥转化的初步研究。

羟磷灰石 $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 \cdot \text{F}$ 和 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 \cdot \text{OH}]$ 。黄土性土壤中的磷酸钙盐就是以这些磷灰石形态存在,一般占无机磷的60—80%。此外,在土壤中已经证实存在的磷酸钙盐,主要还有磷酸二钙和磷酸八钙,这两者往往是由水溶性磷肥施入土壤后在不同条件下的转化产物。一般说,钙质土壤,包括黄土性土壤,全磷量都较高,但有效磷量并不高,如何发挥这部分磷素的潜力,也是农业化学工作者研究的主要任务之一。随着气候带由北向南,土壤风化程度越趋加强,在地带性土壤中磷酸钙盐的含量就逐渐减少,如高度风化的酸性和强酸性土壤,磷酸钙盐都低于5%,甚至极少。

在过去,由于化学分析技术上的困难,磷酸铝盐与磷酸铁盐只能笼统地称为磷酸铁铝盐。六十年代以来,随着分析技术的提高,现在基本上可以将磷酸铁铝盐分离开来。从这些分析资料表明,土壤中磷酸铝的含量远低于磷酸铁盐,只有在某些过渡性土壤,如黄棕壤和棕壤的磷酸铝盐稍多以外,在强酸性、酸性和石灰性土壤中含量均极少,一般占无机态磷的5%以下。我们也注意到,在溶性磷肥施入酸性土壤以后,初期形成的磷酸铝盐较多,但很快即向磷酸铁盐方向转化,表现出相当的不稳定性。所以原来认为,酸性土壤磷素转化的最终产物之一是磷铝石 $(\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ (Lindsay, et al., 1962),现在有人怀疑土壤中能否有形成磷铝石的条件,这可能有一定依据。试验证明,无定形的磷酸铝对作物的有效性是比较好的,尤其在石灰性土壤,即使以溶度积很小的磷铝石作磷源,其效果也并不低于水溶性磷肥 (Taylor, et al., 1963)。

在高度风化的强酸性和酸性土壤中,非闭蓄态磷主要是以磷酸铁盐形态存在,一般占这一部分的50—80%。这些磷酸铁盐,有以无定形态存在,如多水磷酸铁 $(\text{FePO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O})$,也有以结晶状态存在,如粉红磷铁矿 $(\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ 。前者是溶性磷肥施入土壤以后,初期反应生成物的代表,其有效性仍较高,后者是反应最终产物的代表,具有极稳定的磷位,在旱作上肥效极低 (Lindsay, et al., 1961),但在水稻土条件下,供磷能力与水溶性磷肥相近(蒋柏藩等, 1963)。因此,在水旱轮作的情况下,非闭蓄态磷酸铁盐应该是可以有效地利用的。至于石灰性和碱性土壤,磷酸铁盐含量极低,甚至到痕量。

已有的分析资料表明,在各种不同类型的土壤中都普遍存在有数量不等的闭蓄态磷酸盐。这种磷酸盐的形成过程,主要是由于土壤氧化还原电位交替变化的影响。当反应在磷酸盐周围持续发生时,高价的铁盐一方面被还原成亚铁而溶解,同时又不断地被氧化形成一层氧化铁薄膜,“包蔽”或者“封闭”于其外围,这就是所谓的闭蓄态磷酸盐。在旱地耕作的情况下,闭蓄态磷酸盐很难为作物吸收利用,但在渍水还原条件下,氧化铁胶膜仍可被溶解,“封闭”的磷酸盐,再次被释放而活化 (Patrick, et al., 1968),所以这种“封闭”可以意味着是一种“储蓄”。用“闭蓄”这一词汇来表达这部分磷酸盐存在的状态,在科学含义上是比较确切的,形象也是比较深刻的。由于闭蓄态磷酸盐的形成与土壤持续的氧化还原强度成正相关,所以在高度风化的强酸性土壤中,闭蓄态磷酸盐的含量可以占无机态磷的80%以上,有的甚至达95%。在渍水种植水稻的条件下,可以强化这种反应。某些隐域性土壤,如广西石灰岩母质发育的水稻土,闭蓄态磷酸盐也可占无机态磷的60—70%。随着土壤地带性分布北移,闭蓄态磷顺序递减非常显著。北方的黄土性土壤,闭蓄态磷酸盐只占无机态磷的10—20%。所以闭蓄态磷酸盐和磷酸钙盐的相互消长,在一定程度上反映出土壤的风化强度,并标志着土壤磷素养分的一系列性质。

土壤全磷含量的一般幅度在 0.05—0.25% (P_2O_5) 之间。但是全磷量高不一定有效磷高,而全磷低时却往往表现出供磷不足。不少资料表明,全磷量小于 0.10% 时,磷肥对各种作物都有可能显示出增产作用。所以全磷量的高低,是标志一定量的物质基础,作为磷素养分潜力的相对指标仍有其一定的参考意义。图中将土壤全磷量分为四级,这是根据现有资料和生产上实际情况划分的相对比较。就大的土壤地区看,全磷量的分布也表现有一定的趋势。例如,在南方大部分的酸性和强酸性土壤,除了少数玄武岩母质发育的砖红壤,由于母岩的影响,全磷量较高以外,一般均在低量到中量的范围,愈向北方,就愈趋向中上量或高量的上限。结合磷素形态组成的递变规律,所以土壤磷素养分潜力总的变化趋势是由南向北逐渐递增。

根据土壤和磷素养分状况的性质,考虑合适的磷肥品种及其一般的效应就并不困难。在图中,磷肥品种分成三种类型。第一类是水溶性磷肥,包括过磷酸钙、重过磷酸钙和磷酸铵等,这类磷肥原则上适用于所有的土壤。第二类是枸溶性磷肥,如钙镁磷肥、钢渣磷肥、脱氟磷肥和沉淀磷肥等,这类磷肥适用于微酸性至强酸性土壤,脱氟磷肥在北方石灰性土壤上也有很好的增产效应。第三类是难溶性磷肥,如磷块岩矿粉和骨粉,这类磷肥主要用于酸性和强酸性土壤。各种磷肥的效应都相对分强、中、弱三级。“强”是对所有作物都有显著的增产效应;“中”是对豆科作物有显著增产效应,一般作物只有一定肥效;“弱”是对豆科作物有一定增产效应,但一般作物肥效不明显。显然,凡是对难溶性磷肥有强效应的,则对枸溶性和水溶性磷肥一般也必然是强效应,其他可依次类推。至于在某一局部范围内,由于地形、耕作、施肥等的局部变异,影响到磷肥效应,这要视具体情况而判别。

就全国范围来看,本图大体上说明一些土壤磷素养分宏观上的规律和概况,可以为我国磷肥工业的布局,磷肥品种的发展、分配和合理使用以及有关的农业科技工作者提供参考。

参 考 文 献

- 中国科学院土壤研究所,1964: 水稻丰产的土壤环境,农业丰产研究丛书第三集。科学出版社。
中国科学院南京土壤研究所主编,1978: 中国土壤。科学出版社。
蒋柏藩等,1963: 南方水稻土中的磷酸铁对水稻磷素养分的意义。土壤学报,第 11 卷 4 期,361—369 页。
熊毅、席承藩等,1965: 华北平原土壤,科学出版社。
Lindsay, W. L., et al., 1962: Identification reaction products from phosphate fertilizers in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 26: 446—452.
Lindsay, W. L. et al., 1961: Effectiveness of some iron phosphates as sources of phosphorus for plants. *Plant and Soil*, 14: 118—126.
Patrick, Jr. Wm. H., et al., 1968: Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. *Agron.*, 20: 323—359.
Taylor, A. W., et al., 1963: Potassium and ammonium taranakites, amorphous aluminum phosphate, and variscite as sources of phosphate for plants. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 27: 148—151.

AN INTRODUCTION ON THE MAP OF POTENTIAL OF PHOSPHATE NUTRITION IN THE SOILS OF CHINA

Jiang Bo-fan, Lu Ru-kun and Li Qin-kui
(*Nanjing Institute of Soil Science, Academia Sinica*)

Summary

The present map shows the general status of the potential of soil phosphate nutrition of China, including the content and composition of soil phosphorus and crop response to different phosphatic fertilizers. Besides, the phosphorite deposits suitable for the direct application in the form of powdered rock phosphate are marked on the map.

It is found that the compositions of different forms of soil phosphorus are most closely related with the zonality of main soil groups. Six types of the potential of phosphate nutrition are classified according to the composition of soil phosphorus.

In the forest soils and meadow soils about 50—80 per cent of total phosphorus are presented in organic form. In large areas of the pedocal regions of China, soil phosphates mainly remain in forms of fluor-apatite and hydroxyl-apatite, and rich in total phosphorus, but their availability sometimes are low. In lateritic soils, red soils and yellow soils of southern China, these primary phosphate minerals have been highly weathered, and iron phosphates admixed with a very small amount of aluminium phosphates become the principle type of soil phosphate. However, the iron and aluminium phosphates in these soils are mostly coated by a film of colloidal iron oxide and formed occluded phosphate, which can be only liberated under strongly reduced soil condition. Crystalline iron phosphate which has been proved unavailable to upland crops, however even in the form of strengite, shows high activity in paddy soils as in the case of amorphous iron phosphate. Calcium, iron and aluminium phosphates all have been found in brown soils, drab soils and other soil types in the transitional zone, all of which range in pH 6.5—7.5, in general the soil phosphates is more available.

It could be concluded that according to the composition and content of soil phosphate and crop response to phosphatic fertilizers, the potential of phosphorus nutrition of soils are obviously increased in order from the south to the north of China.

The following legend is attached to this map.

LEGEND

Composition of Soil Phosphorus				Total phosphorus	Crop Response to Phosphatic Fertilizers
Symbols	Inorganic Soil Phosphorus				
	Occluded phosphate	Calcium phosphate	Iron phosphate	Aluminum phosphate	Symbols
Percentage of total inorganic phosphate				1 low < 0.08	▲ moderate response to citrate soluble phosphate
1	>80	very low	5—15		
2	50—80	very low	15—30		very low
3	40—60	10—20	20—40		<10
4	20—50	20—60	5—20		10—20
5	10—25	60—85	very low		very low
6	50—80% of total phosphorus in organic forms			2 medium 0.08—0.12	● good response to water soluble phosphate
				3 medium-high 0.12—0.16	○ moderate response to water soluble phosphate
				4 high > 0.16	○ slight response to water soluble phosphate

Soil Phosphorus Potential Low to High

■ Phosphorite deposits suitable for the direct application in the form of powdered rock phosphate

