

影响水稻土磷素扩散的某些因素

凌云霄

(中国科学院南京土壤研究所)

INVESTIGATION ON THE FACTORS AFFECTING THE DIFFUSION OF PHOSPHATE IN PADDY SOIL

Ling Yun-xiao

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

晚近的研究表明,土壤养分供应大致通过三个途径:即质流、扩散和根系截获。并认为 NO_3^- 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 等营养离子主要通过质流,而磷、钾、铵则主要通过扩散^[2,6]。因此,土壤中磷的扩散是判别土壤磷素供应和提高磷肥效率的重要指标。然而,由于影响磷扩散的土壤因素很多,所以在鉴别某一土壤的磷素供应,或研究如何进一步发挥磷肥肥效时,必须首先了解影响土壤中磷素扩散的一些因素。本文即为此目的对三种不同类型水稻土中的磷素扩散及其影响因素进行了初步研究。

一、供试材料和研究方法

供试土壤为太湖湖积物发育的中性水稻土(江苏无锡县),第四纪红色粘土发育的酸性水稻土(浙江金华),以及冲积物发育的石灰性水稻土(江苏响水)等三种耕层土壤。其

表1 三种供试土壤的理化性质

土壤名称	pH	粘粒% ($<0.001\text{mm}$)	土壤主要 粘土矿物	活性铁 ¹⁾ (%)	活性铝 ¹⁾ (%)	有机质 (%)
酸性水稻土	5.5	29.36	高岭	0.34	0.25	1.45
中性水稻土	6.5	23.48	水云母	1.28	0.21	2.20
石灰性水稻土	8.4	14.97	蒙脱	0.16	0.03	0.89

1) 用酸性草酸——草酸铵溶液浸提。

理化性质见表1。研究所涉及的因素包括不同有机肥(分别加土重5%的腐解稻草,紫云英以及风化煤沤制一个月),和可以在土壤中产生不同pH(三相点pH)的三种不同的磷源(用量按500微克/克土的0.01M $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 溶液),以及

二种水分条件(模拟水田的水分处于饱和状态,其含水量约为土重的40%左右。旱田的水分根据各类土壤的最大持水量的70%计算加入,约为土重的25%左右)。共计72个处理,每处理重复三次。待样品分别制备后,按瞬时法^[3]测定磷的扩散系数(试样容重均为

1.17克/厘米³)。并按 Fick's 定律推导出的简化方式 $\frac{q}{q_0} = \frac{2}{L} \sqrt{\frac{Dt}{\pi}}$ 求出扩散系数 D 。

式中 q 为 t 时间内的扩散量(放射性强度)

q_0 为 t 时间内二扩散池总量的平均数(放射性强度)

L 为扩散池厚度

π 为常数 3.14

t 为扩散时间

二、结果和讨论

(一) 土壤化学因素对磷素扩散的影响

1. 有机物质的影响。由表2可见,加入不同有机物质一般都能提高磷素的扩散。红壤性水稻土中加紫云英的效果最好,与对照相比 D 值增加约为五倍,其次是风化煤和稻草。中性水稻土中加稻草和紫云英的效果接近,加风化煤没有作用。石灰性水稻土中加稻草

表2 不同有机物质处理土壤后的 D 值($D \times 10^{-9}$ 厘米²/秒)

处 理	红壤性水稻土	中性水稻土	石灰性水稻土
对 照	2.85±0.82	1.86±0.17	13.7±1.66
稻 草	11.9±0	7.79±0.50	25.5±2.7
紫 云 英	15.16±1.0	6.45±0.21	18.0±0.92
风 化 煤	11.5±2.0	1.80±0.39	8.70±0.30

本表以 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 为磷源。

的效果显著优于紫云英,而风化煤反而降低。

有机物质能提高磷扩散的原因是很多的。从化学因素来讲可能主要有两个原因,一是当有机物质与无机颗粒通过 Fe、Al (酸性土)和 Ca、Mg (石灰性土)桥键复合时^[3],能相应降低土壤中铁铝和钙镁对磷的固定,增加了磷在液相中的浓度。而且,这种作用对于富含铁铝的酸性土更为显著。有人曾用 H_2O_2 去除复合体中的有机胶体后,发现复合体上磷的吸附量明显增加。另外,当土壤中有较多腐殖物质时,土壤复合体上可保留相当量的 H^+ ,从而抑制氢铝的转化速度^[3],同时降低代换性铝的数量,减少活性铝对磷的固定。红壤的酸度以代换性铝为主,因此红壤中加有机物的作用应更显著^[4]。不少研究者指出,在不同土壤上加入有机物质对作物产量的反应是不同的,酸性土壤上的施用效果最为显著,这也可能与提高磷的活性有很大关系。

当然,就不同土壤上各种有机物质对磷扩散的不同反应而论,其原因则更为复杂。它涉及土壤的类型,又涉及有机物质的施用方式及种类等。同样腐解的物质,与土壤混合沤

制和未沤制的不同,沤制半个月能显著提高磷的扩散,结果见表 3。

表 3 红壤性水稻土与腐解有机物沤制时间对 D 值影响($D \times 10^{-10}$ 厘米²/秒)

沤制时间	对 照	稻 草	紫 云 英	风 化 煤
半个月	0.68±0.16	5.55±1.12	22.3±2.6	9.9±0
未沤制	0.70±0.07	2.24±0	7.41±0.47	2.19±0.26

本表以 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 为磷源。

其中紫云英处理的 D 值变化最为明显。不同有机物的影响除前述二个原因之外,还可能由于有机物沤制过程中分解产物组成和数量的不同,影响亦不同。另外由于有机质本身含磷量的多少也有影响。一般说,紫云英中含磷量较多,与土壤沤制时可减少土壤对磷的吸附,增加液相中磷量,从而增加磷的扩散。而稻草中的含磷量低,与土壤沤制时,增加液相中的磷量不明显,而影响磷的扩散量可能由腐解产物所引起。在腐解初期, C/N 比高的有机物,因微生物固定磷而减少液相磷量,暂时地降低磷的扩散量。本试验由于采用已腐解稻草,故未出现上述现象。红壤性水稻土中紫云英的效果最好,与上述诸原因有密切关系。至于风化煤在中性和石灰性水稻土中的作用不显,可能与其有机无机复合度较差有关。而在酸性水稻土中又具有明显作用的机理有待进一步研究。

2. 不同磷源的影响。由表 4 可见,三种 0.01 M 的 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$ 和 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 溶液, pH 值分别为 3.1、4.7、8.1,按 500 微克/克土与三种土壤分别混沤,测得扩

表 4 不同磷源在三种类型土壤中的 D 值($D \times 10^{-10}$ 厘米²/秒)

磷源种类	红壤性水稻土	中性水稻土	石灰性水稻土
$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (3.1)	0.61±0.2(5.2)	18.6±1.7(6.6)	137±16.6(7.9)
$(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$ (4.7)	0.75±0.2(5.5)	10.4±2.3(6.7)	80.2±8.0(8.0)
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (8.1)	1.07±0.20(5.8)	16.6±0.8(7.0)	195±17.5(8.3)

表中()内的数字为 pH 值。

散系数总的趋势是石灰性水稻土>中性水稻土>红壤性水稻土。酸性土中磷的扩散系数加 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 处理的比表 2 中对照所示的结果为小。这是由于表 2 的被测土壤在水分饱和条件下沤制一个月,在培育过程中,土壤的 pH 有所增高(pH5.5—6.4),并促进含水氧化高铁还原,因而降低了磷的吸附,增加了磷的扩散之故。而本试验所采用的酸性土未经培育,中性和石灰性两种土壤为培育过的,其前后测得扩散系数差异不大。不同磷源在三种土壤上的扩散系数对比,则 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 的扩散量较前其他二种磷源稍大。看来虽然在理论上 HPO_4^{2-} 的移动速度小于 H_2PO_4^- ,而实际上并不完全如此。这可能是由于 pH 所引起的结果,也可能与相伴阳离子种类和数量的不同有关。如钙离子比铵离子能更大地抑制磷的扩散。

3. pH 的影响。pH 对磷素扩散的影响,主要原因之一是不同 pH 的土壤存在着不同量的活性铁铝。一般说 pH 3—4,铁、铝的活性最大,强烈影响磷酸离子的活性,降低它的扩散。pH 4—6 时,铁、铝呈水化氧化物态,对磷酸离子活性的影响减弱。另一方面,不

同 pH 的液相中 $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ 比值是不同的。如 pH 7.3 时 $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-} = 0.8$; pH 6.7 时比值为 3.2^[7], 估计不同比值离子团与扩散速度有一定关系。一般说 pH 在中性附近, 扩散系数较大, 过酸过碱都将引起扩散量的减小, 这是由于酸性土中铁铝和碱性土中钙镁所引起。而且前者结合能远大于后者, 故酸性土中磷素的供应是个比较突出的问题。有的研究者^[9]指出, 酸性土中施加石灰, 对磷的扩散系数无多大影响。我们在酸性水稻土中施加不同石灰量后、沤制一个月也得到类似的结果(表 5)。

表 5 不同石灰施用量时的 D 值

石灰施用量	pH	扩散系数($D \times 10^{-9}$ 厘米 ² /秒)
未 施	6.4	3.53 ± 0.42
50 毫克/100 克土	6.6	2.19 ± 0.27
200 毫克/100 克土	7.7	3.22 ± 0.75
500 毫克/100 克土	8.4	2.62 ± 0.31

本表以 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 为磷源。

看来, 在一定 pH 范围内, 当活性铝呈聚合态时, pH 对磷素扩散的影响可能不会很明显。

(二) 土壤物理因素对磷素扩散的影响

1. 水分条件的影响。水分是离子移动的基础, 故水分多少对磷酸离子扩散量影响极大。我们模拟田间通常存在的水、旱二个水分条件, 进行三种土壤磷的扩散系数测定, 结果列于表 6。

表 6 不同水分条件下三种土壤的 D 值(厘米²/秒)

水分条件(含水量)	红壤性水稻土	中性水稻土	石灰性水稻土
40%	$(2.85 \pm 0.82) \times 10^{-9}$	$(1.86 \pm 0.17) \times 10^{-9}$	$(13.7 \pm 1.66) \times 10^{-9}$
25%	$(4.37 \pm 1.91) \times 10^{-11}$	$(1.19 \pm 0) \times 10^{-11}$	$(4.9 \pm 0.5) \times 10^{-11}$

本表以 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 为磷源。

由表 6 可见, 水分含量影响养分离子扩散是极为重要的条件。通常情况下, 旱田水分含量对养分扩散比水田低 100 倍, 虽然在不同土壤上降低的幅度是不同的。同时因离子的移动与水膜厚度极为密切^[8], 渍水条件下土壤孔隙充满水分, 离子移动量就大, 测得的扩散系数也大, 且测定的变异较小。而在旱田条件下, 土壤孔隙内不全充满水分, 部分孔隙为空气所占有, 离子移动受阻碍, 故测得扩散系数小, 变异也大。

2. 质地的影响。土壤质地对磷素扩散的影响主要取决于颗粒的比表面及其不同排列所引起的孔隙大小和连续性^[10]。一般说质地细, 比表面大, 表面吸附力强。因此, 既会影响土壤溶液中养分离子浓度, 又会影响该离子的移动速度。如同母质的石灰性水稻土, 质地较轻的砂土中磷的扩散系数为 $1.81-2.92 \times 10^{-8}$ 厘米²/秒, 而质地较粘的中壤中则为 $0.56-1.55 \times 10^{-8}$ 厘米²/秒。在不同母质的土壤中影响磷的扩散因素是很多的, 尽管

如此,质地还是一个调节养分移动的重要因素。

三、摘 要

本文按 Olsen 瞬时法测定了三种水稻土(酸性、中性和石灰性)中磷的扩散系数,并分析了影响磷素扩散的某些土壤化学和物理因素。研究结果表明石灰性水稻土中的扩散系数最大,其次是酸性水稻土和中性水稻土。

不同有机物质均能增加磷的扩散,但增加的幅度因土壤类型和有机物质种类而异。酸性水稻土中混沤紫云英增加扩散系数最大,其次是混沤稻草和风化煤。中性水稻土中混沤紫云英和稻草都明显增加扩散系数,而风化煤作用不显著。石灰性水稻土混沤稻草作用优于混沤紫云英,而风化煤反而降低磷的扩散作用。

磷源的影响表明,以 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 为磷源测得扩散系数较其他二种磷源 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 和 $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$ 要高。

水分条件对供试土壤中磷的扩散有显著影响,水田条件比旱地,磷的扩散速度要约大 100 倍。质地粘的,扩散系数小。

影响水稻土磷酸离子移动和扩散的因素很多。看来,酸性土壤磷素供应强度小,其原因也是多方面的。因此调节上述因素促进磷素供应,对提高磷肥肥效和作物产量具有重要意义。

参 考 文 献

- [1] 于天仁、凌云霄 1957: 土壤酸度与代换性铝关系。土壤学报,第 5 卷 3 期,第 234—237 页。
- [2] 鲁如坤、朱荫涓、时正元、顾益初,1979: 太湖地区水稻土的磷素状况。太湖地区水稻土肥力研究论文集,第 45 页。
- [3] 熊毅, 1979: 土壤胶体的组成及复合。土壤通报,第 5 期 1—8 页。
- [4] Hoyt, P. B. and Turner, R. C., 1975: Effects of organic material added to very acid soil on pH aluminium exchangeable NH_4 and crop yields, *Soil Sci.*, 119: 227—237.
- [5] Kunishi, H. M. and Taylor, A. W., 1975: The effect of phosphate application on the diffusion coefficients and available phosphate in an acid soil, *J. Soil Sci.*, 26: 267—277.
- [6] Lewis, D. G. and Quirk, J. P., 1967: Phosphate diffusion in soil and uptake by plants, *Plant and Soil.*, 26: 99—119.
- [7] Miller, M. H. Mamaril, C. P. and Blair, G. J., 1970: Ammonium effects on phosphorus absorption through pH changes and phosphorus precipitation at the soil-root interface, *J. Agronomy*, 62: 524—527.
- [8] Olsen, S. R. Watanabe, F. S. and Danielson, R. E., 1961: Phosphorus absorption by corn roots as affected by moisture and phosphorus concentration, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 25: 289—294.
- [9] Olsen, S. R. Kemper, W. D. and Vanschaik, J. C., 1965: Self-diffusion coefficient of phosphorus in soil measured by transient and steady-state methods, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 29: 154—158.
- [10] Olsen, S. R. and Watanabe, F. S., 1970: Diffusive supply of phosphorus in relation to soil textural variations, *Soil Sci.*, 110: 318—327.