

土壤积累态磷研究

III. 几种典型土壤中积累态磷的形态特征及其有效性

鲁如坤 时正元 钱承梁

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要

采用Hedley土壤磷的分级方法研究了我国几种典型土壤和长期定位试验肥料残留磷(积累态磷)的形态,并根据生物耗竭试验后不同级磷的减少讨论了各级磷的有效性。结果表明,即使在固磷能力很强的红壤上,积累态磷也大部分存在于可被作物利用的磷的形态中。这就是为什么磷肥的积累利用率高的基本原因。

关键词 土壤; 积累态磷; 磷形态

国内外都证明,大量积累在土壤中的肥料磷(称作积累态磷以有别于土壤本身的磷)仍然有较高的有效性。如在固定磷能力甚强的红壤上磷肥的表观积累利用率仍然可以达到68%⁽¹⁾。为了解其原因,我们研究了这些积累在土壤中的磷的存在形态,以及不同形态磷的有效性。

1 土壤磷的分级方法

过去我国常用的土壤磷素分级方法是50年代提出的张守敬和Jackson法⁽²⁾。近年来,石灰性土壤多用蒋柏藩提出的分级方法。国外还提出过不少土壤磷的分级方法,但是大部分方法都不包括土壤有机态磷。我们知道,土壤中某些有机磷是易矿化的,对土壤磷素供应起着一定作用。另外,像张守敬等的方法,分级较粗,基本上代表的是比较稳定性的形态,这就不利于了解土壤磷素的动态变化。80年代初提出的Hedley法⁽³⁾,大体上克服了上述方法的不足,所以为越来越多的学者采用,我国在这方面工作尚不多,我们在这方面作一些尝试。

这个方法把土壤磷分为7个大类,其中一部分类别又区分为有机态和无机态两个部分。各级的基本情况简述如下:

(1)树脂交换态磷 是用阴离子交换树脂代出的磷。这一部分磷是与土壤溶液磷处于平衡状态的土壤固相无机磷。所以它是充分有效的,在土壤溶液磷被移走之后,它可迅速进行补充。这部分磷构成了土壤活性磷(labile P)的大部分。

(2)NaHCO₃提取态磷 这部分磷包括无机态(Pi)和有机态(Po)两部分,无机部分主要是吸附在土壤表面的磷。所以这一部分磷也是有效的,它和我们通常所谓的Olsen-P有相似之处。有机部分,主要是可溶性的有机磷,它易于矿化。

(3)微生物细胞磷 这部分磷是土壤先用氯仿处理,目的是把土壤中微生物细胞中的磷溶解出来,再用NaHCO₃溶液提取出来,然后减去NaHCO₃溶液磷的差值。这部分的磷主要是溶解的微生物细胞磷。也包括有机和无机两部分。用这种方法实际上并不能把土壤中

全部微生物细胞磷提取出来。研究表明, 它能提取的磷不到 40%。微生物细胞磷在某些条件下可以较快的矿化后为作物利用。

(4)NaOH 溶性磷 这一部分磷主要用 0.1mol/L NaOH 提取, 它们是以化学吸附作用吸附于土壤 Fe、Al 表面的磷。它也包括有机和无机两部分。

(5)土壤团聚体内磷 这部分磷是土壤先经超声分散然后用 NaOH 提取的磷, 也包括有机和无机两部分。这些磷主要是存在于土壤团聚体内表面的磷。

(6)磷灰石型磷 它是用 0.5mol/L H_2SO_4 提取的, 在石灰性土壤中主要提取的是磷灰石型磷, 但在高度风化的土壤(如红壤)中也能提取部分称作闭塞态的磷。

(7)残留磷 它是在以上各试剂中不能提取的比較稳定的磷, 也包括有机和无机两部分。

NaOH, $NaHCO_3$, 超声 NaOH 提出的有机态磷, 其分子量均在 30000 以下, 少量可达 30000—70000, 在残留磷中提取的有机态磷相当于土壤的胡敏酸和胡敏素中磷。

2 我国某些类型土壤的磷素形态

我们选择了 5 种主要类型土壤: (1)代表亚热带湿润地区的丘陵红壤(江西); (2)代表暖温带半湿润区的潮土(河南); (3)代表温带半湿润区的黑土(黑龙江海伦); (4)代表暖温带半干旱区的黄绵土(陕西固原); (5)代表温带干旱区的荒漠土(新疆阜康)。

这些土壤在我国东北、华北、华东、西北等地区都有广泛的代表性。它们的磷素形态列于表 1, 各级磷占总磷量的%列于表 2。

表 1 我国几种类型土壤的磷素形态 (P, mg/kg)

形 态	红壤	潮土	黑土	荒漠土	黄绵土
无机磷					
树脂 Pi	Tr	10.2	77.0	32.8	12.3
$NaHCO_3$ Pi	1.4	Tr	57	Tr	1.8
细胞 Pi	7.8	12.3	63.9	39.3	4.3
NaOH Pi	47.9	14	106.2	14.2	13.3
超声 Pi	18.3	8.3	44.2	9.2	8.0
HCl Pi	29.4	395	169	911	455
合 计	104.8	439.9	517.3	1006.5	484.7
有机磷					
$NaHCO_3$ Po	Tr	17.4	75.8	Tr	15.5
细胞 Po	Tr	15.7	111	27.2	25.6
NaOH Po	13.5	11.3	183.6	9.1	22.2
超声 Po	Tr	6.8	3.7	1.3	1.1
合 计	13.5	51.2	374.1	37.6	64.4
残留磷	141	96	122.3	91	147
总 量	259.3	587.1	1013.7	1135.1	696.1

表 2 各级磷形态的相对含量 (占总磷量的%)

形 态	红壤	潮土	黑土	荒漠土	黄绵土
无机磷					
树脂 Pi	Tr	1.7	7.6	2.9	1.8
$NaHCO_3$ Pi	0.5	Tr	5.6	Tr	0.3
细胞 Pi	3.0	2.1	6.3	3.5	0.6
NaOH Pi	18.5	2.4	10.5	1.3	1.9
超声 Pi	7.1	1.4	4.4	0.8	1.2
HCl Pi	11.3	67.3	16.7	80.3	63.9
合 计	40.1	74.9	56.0	88.7	69.6
有机磷					
$NaHCO_3$ Po	Tr	3.0	7.5	Tr	2.2
细胞 Po	Tr	2.7	11.0	2.4	3.7
NaOH Po	5.2	1.9	18.1	0.8	3.2
超声 Po	Tr	1.2	0.4	0.1	0.2
合 计	5.2	8.7	36.9	3.3	9.3
残留磷	54.4	16.4	12.1	8.0	21.1

注: “Tr”代表极少, Pi 为无机磷, Po 为有机磷 (下同)。

从表 1、表 2 可以看出不同类型土壤磷素形态的巨大差异。

无机磷方面: 在所有北方 3 个石灰性土壤中(潮土、黄绵土和荒漠土), 磷灰石型的磷占有全磷量的大部分(> 60%), 而黑土中磷灰石型磷只占 16.7%。有意思的是, 在无机磷中与 Fe、Al 结合的 P(NaOH 提取的 Pi)红壤最高(但也只有 18.5%), 这是当然的。但是第二位却

是海仑的黑土,这是一个新的情况,为了验证这一点,我们对5种土壤都进行了活性Fe、Al的测定。测定结果表明(表3),红壤和黑土的活性铁铝最高,这似乎也证明了黑土中与Fe、Al结合的磷占有较大比重是完全可能的。

表3 土壤活性铁铝含量 (mg/kg)*

土壤	活性铁	活性铝
黑 土	2685	1320
荒漠土	542.5	892.5
黄绵土	414.0	613.0
潮 土	403.0	536.0
红 壤	2698.0	1625

* 酸性草酸铵提取

有机磷方面:黑土中各种形态的有机磷占土壤全磷的36.9%,是5种土壤中最高的,其他土壤这类磷都在10%以下,这是因为在这些土壤中,土壤有机质含量都很低(1%左右)。在黑土中,有机磷主要以两种形态存在,一种是与Fe、Al结合的有机磷(占18.1%),另一种是微生物细胞态磷(占11%)。在黑土的残留磷中还有一部分腐殖酸磷。

3 施用磷肥对土壤磷素形态的影响

在缺磷土壤上常常需要施用磷肥。磷肥施入土壤后由于土壤和磷肥之间的作用,肥料中的磷已不再是原来的形态,而是转化成各种形态,所以磷肥形态转化历来是一个值得研究的问题。特别是形态与磷的有效性。表4中列出了3种土壤在长期施磷后磷的形态转化。这些都是长期定位试验的土壤,其中红壤旱地试验期为5年(鹰潭),华北潮土为8年(徐州)***,红壤性水稻土为8年(鹰潭)。

表4 磷肥施用对土壤磷形态的影响 (增加量 P, mg/kg)

形 态	红壤	红壤性水稻土	潮土
无机磷			
树脂 Pi	+22.2	+66.8	+10.1
NaHCO ₃ Pi	+61.8	+128.0	+5.6
细胞 Pi	+86.5	+75.7	+12.5
NaOH Pi	+109.1	+123.8	+7.0
超声 Pi	+17.4	+8.9	+2.6
HCl Pi	+40.8	+47.3	+124.6
合 计	+337.8	+450.5	+162.4
有机磷			
NaHCO ₃ Po	Tr	-37.6	+53.1
细胞 Po	Tr	+5.2	-10.0
NaOH Po	Tr	-23.2	+0.9
超声 Po	Tr	+41.9	-4.1
合 计	Tr	-13.7	+39.9
残留磷	+15	+129.7	+31.6
总 量	+353	+626.6	+247.9

表5 磷肥形态转化 (占转化磷总量%)

形 态	红壤	红壤性水稻土	潮土
无机磷			
树脂 Pi	6.3	10.7	4.1
NaHCO ₃ Pi	10.5	20.4	2.3
细胞 Pi	24.5	12.1	5.0
NaOH Pi	30.9	19.8	2.8
超声 Pi	4.9	1.4	1.1
HCl Pi	11.6	7.6	50.3
合 计	95.7	71.8	78.1
有机磷			
NaHCO ₃ Po	Tr	Tr***	21.4
细胞 Po	Tr	0.84	Tr***
NaOH Po	Tr	Tr***	0.4
超声 Po	Tr	6.7	Tr***
合 计	Tr	7.54	21.8
残留磷	4.3	20.7	12.8

***有减少。

* * 感谢蒋仁成先生提供潮土长期试验土壤标本。

表4、表5结果表明:磷肥施入红壤后,约有1/3转化为Fe-Al结合的磷。这是符合红壤性质的,其次是微生物细胞态无机磷。但几乎没有发现向这类磷的有机态转化。在长期施磷肥后,也有相当部分(24%)转化为立即有效的形态(树脂态和 NaHCO_3 Pi态)。

从红壤性水稻土的磷素转化情况可以看出它仍保留着明显的红壤性质,磷肥有20%转化为Fe-Al结合态磷。有意思的是,约有20%的磷转化为残留态,其中主要是闭蓄态。这说明,在水稻土干湿交替的环境条件下,有利于闭蓄态磷的生成。

石灰性潮土最大的特点是50%的肥料磷转化为磷灰石型Ca-P。

在红壤性水稻土和潮土上,都有一部分有机态磷在利用过程中有所减少。其原因尚待研究。这是否意味着易矿化有机磷的分解速度比转化为这类有机态磷的速度要快些,还不得而知。

4 土壤磷素形态及其有效性

土壤磷素形态及其有效性是一个复杂的问题,因为磷素形态并不是化学上的化合物,而是一系列化合物的组合。但是磷素形态的有效性又是重要的,为此,我们进行了生物耗竭试

表6 红壤磷素形态和有效性 (P, mg/kg)

形态	原土 (施磷后)	种5季 作物后	减少量	占总吸 收量的%
无机磷				
树脂 Pi	11.6	1.5	10.1	5.9
NaHCO_3 Pi	51.8	10.4	41.4	24.2
细胞 Pi	55.0	16.5	38.5	22.5
NaOH Pi	140	75.0	65.0	38.8
超声 Pi	26.1	16.2	9.9	5.8
HCl Pi	24.4	21.7	2.7	1.6
合 计	308.9	141.3	167.6	97.9
有机磷				
NaHCO_3 Po	Tr	Tr	Tr	
细胞 Po	29.0	28.2	0.8	0.5
NaOH Po	9.0	12.3	3.3	Tr
超声 Po	Tr	Tr	Tr	Tr
合 计	38.0	40.5	0.8	0.5
残留磷	208	206	2.0	1.2
总 量	554.9	387.8	171.2	100

验。在施磷土壤上,连种5季作物(1季小麦,4季黑麦草),土壤中减少的磷即作为作物吸收的磷,结果列于表6。

表6表明,在5季作物吸收的磷中,前4种形态的磷,占了92%。通常认为的有效磷(前两种状态)占30.1%。由此可见(对照表4),在红壤上施入的磷有79.2%转化为前4种形态,而这4种形态的磷供应的磷量占作物吸收磷量的92%。可以知道,尽管红壤有巨大的固定磷的能力,但施入磷肥后,大部分(79%)仍转入在一定期限内可为作物利用的形态,因此,可以想知,在红壤上尽管磷肥当季利用率很低,但可以有较长的后效和较高的磷的积累利用率。这一点已经得到证明⁽¹⁾。

5 结 语

本文证明,施用磷肥后即使在固磷能力很强的红壤中大部分磷(积累态磷)仍然存在于可被作物吸收的形态之中,即树脂态、 NaHCO_3 溶解态、细胞磷和铁、铝结合态。施肥后新形成的铁、铝结合态磷主要是非晶质铁、铝的化合物⁽⁴⁾,所以它们仍保持着较高的生物有效性。但是,我们不能因此就认为土壤磷的固定作用不重要,或者对磷肥的有效性影响不大,因为即使磷肥有相当长的后效,有较高的积累利用率,但磷肥的当季利用率仍然很低,这正是由于磷固定作用造成的。因此我们既不能夸大磷的固定作用,认为磷肥一旦被固定就变得无效了,又不能忽视磷的固定作用,认为磷固定作用影响不大。

(下转第75页)

多, 如何简化有待于进一步研究.

参考文献

- [1] 龚子同、赵其国、曾昭顺、林培、王人潮, 中国土壤分类暂行草案, 土壤, 1978, (5): 168-169.
- [2] 全国土壤普查办公室, 中国土壤分类系统, 农业出版社, 1993.
- [3] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题协作组, 中国土壤系统分类(首次方案), 科学出版社, 1991.
- [4] 张俊民, 黄棕壤和黄褐土在土壤系统分类中的地位, 中国土壤系统分类探讨, 科学出版社, 1992, 182-189.
- [5] 吴克宁、魏克循, 豫南黄棕壤和黄褐土的基本属性与系统分类研究, 中国土壤系统分类进展, 科学出版社, 1993, 144-157.
- [6] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组、中国土壤系统分类研究课题协作组, 中国土壤系统分类检索(修正方案), 科学出版社, 1995.
- [7] 吴克宁、张俊民、李祥宁, 南阳盆地黄褐土水分状况研究, 中国土壤系统分类新论, 科学出版社, 1994, 377-381.
- [8] 刘多森、汪枳生, 可能蒸发量的动力学建模与中国干燥度计算, 土壤学进展, 1995, 23(2): 54-56.
- [9] 曹升庚, 供中国土壤系统分类用的土层划分和命名草案, 中国土壤系统分类进展, 科学出版社, 1993, 7-13.
- [10] 张俊民, 长江中下游淋溶土的特性和系统分类, 土壤学报, 1995, 32(5): 111-119.

(上接第 60 页)

从磷的当季利用率低、积累利用率高这一基本事实，可以看到，提高磷肥利用率有两大途径：一是减少磷的固定；二是充分利用磷的后效。前者已有不少经验，如集中施磷等，后者如磷肥以一个轮作周期为单位的施磷技术，“早重水轻”等。

参考文献

- [1] 鲁如坤、时正元、顾益初, 土壤积态态磷研究 II. 磷肥的表观积累利用率, 土壤, 1995, 27(6): 286—289.
- [2] Chang, S. C. and M. L. Jackson, J. Soil Sci., 1958, 9: 109—119.
- [3] Hedley, M. J., et al., SSSAJ, 1982, 46: 970—976.
- [4] HSU, P. H., Soil Sci., 1982, 133: 305—313.