

# 酸性水稻土有机磷分组法的探讨\*

熊恒多

(武汉市农科院生物中心, 6,430065)

李世俊 范业宽

(华中农业大学土化系)

## 摘 要

本文研究了 Bowman-Cole 土壤有机磷有效性分组法应用于酸性水稻土所存在的若干问题。并在该法的基础上提出了一种改进法。结果表明:改进法比 Bowman-Cole 法能更好地将易矿化的(如 RNA、磷脂等)、中度易矿化的(如植酸钙)和难矿化的(如植酸铁)有机磷化合物区分开来。改进法所测的结果比 Bowman-Cole 法提高了活性有机磷的数量和中度活性有机磷的质量,增加了稳定性有机磷应有的数量,改善了 HA-P、FA-P 的比值,使土壤有机磷对植物有效性的分组更合理更完善。

关键词 土壤有机磷, 分组

作为研究土壤有机磷组分与土壤供磷能力的关系, Bowman-Cole 土壤有机磷对植物有效性的分组法是目前较好的方法之一,受到一些学者的推荐和应用<sup>[1,7]</sup>。但是,该法仍存在一些问题,需进一步完善。本文在前人研究的基础上,对 Bowman-Cole 法应用于酸性水稻土所存在的问题作了探讨,并提出了一个相应的改进法。

## 一、材料和方法

(一) 材料: 供试土样采自鄂东南咸宁和浠水丘岗地区的水稻土耕层土样(0—15cm) 12个, 基本性状见表1。供试化学药品,除植酸钙和植酸铁自备外,其它均为试剂商品。

(二) 方法: 土壤有机质用  $H_2SO_4-K_2Cr_2O_7$  容量法; 土壤全磷用  $H_2SO_4-HClO_4$  消化法; 土壤有机磷全量用灼烧法<sup>[3,8]</sup>; 土壤速效磷用 0.5mol/L  $NaHCO_3$  法; 土壤有机磷分组用 Bowman-Cole 法和本文改进法; 磷的测定均用  $SnCl_2-H_2SO_4$  体系磷钼蓝比色法; 土壤 pH 用标准色卡法; 超声波处理, 用 CFS-1A 型超声波清洗机。

## 二、结果与讨论

### (一) 关于 Bowman-Cole 法的若干问题

1. 活性有机磷 Bowman-Cole 法的活性有机磷脂能溶于 0.5mol/L  $NaHCO_3$

\* 国家自然科学基金委员会资助课题。

表 1 鄂东南酸性水稻土耕层土样的性状

Table 1 Properties of the soil samples taken from the plough horizon of acid paddy soils in the southeastem hubei

土样编号 Soil Sample No.	成土 母质 Parent material	颗粒组成 Particle composition		有机质 Organic matter (g/kg)	pH	全磷 Total P ( $\mu\text{g/g}$ )	速效磷 Available P ( $\mu\text{g/g}$ )	有机磷 全量* Total orga- nic P ( $\mu\text{g/g}$ )
		物理性粘粒 Physical clay <0.01mm(%)	细粘粒 Fine clay <0.001mm(%)					
1	第四纪红 色粘土	—	—	13.3	5.6	337	5.8	123
2		67.3	46.1	11.7	5.4	330	5.6	141
3		—	—	13.8	5.4	354	5.3	136
4		49.9	38.2	25.6	5.8	370	5.5	177
5		—	—	26.5	5.8	365	5.7	159
6		—	—	24.5	5.8	375	8.0	167
7		—	—	26.3	5.8	660	12.8	217
8	花岗片麻 岩风化物	27.7	19.9	21.7	5.8	389	12.9	116
9		—	—	25.4	5.8	585	10.0	186
10		45.3	20.5	31.8	6.0	940	32.9	266
11		52.8	22.0	29.6	6.0	810	23.7	266
12		—	—	28.4	6.0	927	29.8	279

\* 有机磷全量用灼烧法测定,灼烧——1mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  浸提法<sup>[3,8]</sup>。

(pH8.5) 的土壤有机磷化合物<sup>[3]</sup>。据 Hedley 等人的研究表明<sup>[4]</sup>, 单纯以 0.5 mol/L  $\text{NaHCO}_3$  溶液作浸提剂, 对土壤不进行氯仿预处理, 难以浸提出土壤微生物体中存在的活性有机磷组分, 因此用无氯仿处理的 Bowman-Cole 法测定该组分时, 必然存在数量不足的问题<sup>[3]</sup>。因而在这点上应该吸取 Hedley 等人测定该组分的优点。但该方法对土样进行氯仿预处理后加入 0.5mol/L  $\text{NaHCO}_3$  进行振荡需达 16 小时, 存在费时的缺点, 有必要改进和探讨。

从表 2 可看出, 将土样按 Hedley 等人的方法以氯仿预处理后, 再加入 0.5mol/L  $\text{NaHCO}_3$  溶液, 并以超声波处理 10 分钟和振荡 30 分钟, 所浸提出的活性有机磷组分的数量不仅与 Hedley-Stewart-chauhan 法很相近, 而且显著地高于 Bowman-Cole 法。这表明氯仿加超声波处理既可克服 Bowman-Cole 法存在的数量问题, 又可克服费时太长的缺点。

从图 1 可看出, 两种质地偏粘的酸性水稻土,

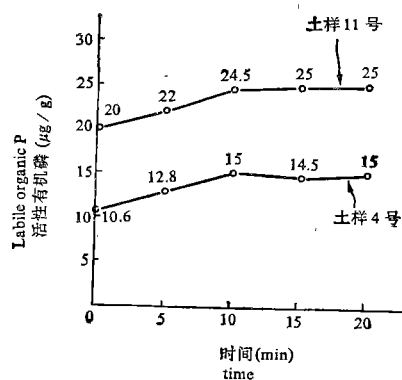


图 1 超声波处理时间与酸性水稻土活性有机磷含量的关系<sup>1)</sup>

Fig. 1 The relationship curves between the time of ultrasonic treatment and the contents of labile organic P in the acid paddy soils

1) 以 0.5mol/L  $\text{NaHCO}_3$  浸提土样, 振荡 30 分钟, 未超声波处理与超声波处理的测定结果。超声波处理时间是以土样完全分散后开始记时间(下同)。

表 2 不同方法提取的活性有机磷量 ( $\mu\text{g/g}$ )

Table 2 Contents of soil labile organic P extracted by different methods

土样编号 Soil sample No.	Bowman-Cole method	Hedley-Stewart- Chauhan method	氯仿和超声波提取法 <sup>1)</sup> $\text{CHCl}_3$ and ultrasonic extraction method
4	10.6	17.6	17.0
11	19.9	23.9	25.5

1) 采用 Hedley-Stewart-chauhan 法,将 1 克土样进行氯仿处理后,加入  $0.5\text{mol/L NaHCO}_3$  20ml, 用超声波处理 10 分钟,然后再振荡 30 分钟。

以超声波处理 10 分钟后,即使延长处理时间,曲线仍趋于平缓,活性有机磷也并未有所增加,因此,可以初步认为,对一般酸性水稻土而言,超声波处理 10 分钟就能将所需 16 小时的振荡时间缩短至 30 分钟。

2. 中度活性有机磷 Bowman-Cole 法为先用  $1\text{mol/L H}_2\text{SO}_4$  直接提取中度活性有机磷,其残土再用  $0.5\text{mol/L NaOH}$  浸提稳定性有机磷的顺序。但据 Jackman 和 Black 的研究<sup>[6]</sup>,采用强酸或强碱作浸提剂,植酸铁和植酸铝及其衍生物均易溶解而被提取出来;植酸钙和植酸镁则只有强酸作浸提剂才易溶解而被提取出来,仅其衍生物有些例外。前者属稳定性有机磷,后者属中度活性有机磷<sup>[1]</sup>。可见,先酸后碱浸提土样的 Bowman-Cole 法,既不能很好保证中度活性有机磷组分的质量,又会影响稳定性有机磷组分的数量,亦有必要改进和探讨。

从表 3 可以看出,采用 Bowman-Cole 法的先酸后碱的浸提土样的顺序,用  $1\text{mol/L H}_2\text{SO}_4$  提取酸性水稻土中度活性有机磷组分,将其 pH 调节至 3 时,植酸铁铝均可达沉淀完全<sup>[2,6]</sup>,并使中度活性有机磷组分的测定值极显著地下降,提高其纯度与质量。从该表还可看出,不采取调节 pH 值的方法,而预先用  $0.1\text{mol/L NaOH}$  溶液提取出样本中的植酸铁铝及其衍生物之后,将其残土样本再用  $1\text{mol/L H}_2\text{SO}_4$  提取中度活性有机磷组分,则更能避免其沉淀造成的误差,进一步提高其数量。

结果表明,对含植酸铁铝组分偏高的酸性水稻土而言,直接用  $1\text{mol/L H}_2\text{SO}_4$  处理土样的浸提液所测得的有机磷值并非完全属于中度活性有机磷组分,实际上还包含有一部分稳定性有机磷组分。应根据植酸盐类 pH 可溶性曲线的特征<sup>[6]</sup>,采取先碱提后酸提的浸提顺序,不仅可以提高土壤中度活性有机磷的纯度与质量,而且还可提高稳定性有机磷应有的数量。

3. 稳定性有机磷 Bowman-Cole 法仅运用  $0.5\text{mol/L NaOH}$  和  $1\text{mol/L NaOH}$  进行对比而确定  $0.5\text{mol/L NaOH}$  作浸提剂测定土壤稳定性有机磷,并以  $0.5\text{mol/L NaOH}$  所提取的噻啡酸态磷 (FA- $\text{P}_0$ ) 作为中度稳定性有机磷,而将胡敏酸态磷 (HA- $\text{P}_0$ ) 作为高度稳定性有机磷。为了检验该法所采用的 NaOH 浓度是否恰当,进行了不同浓度的 NaOH 处理。

从表 4 可看出,用 NaOH 溶液浸提土壤稳定性有机磷组分,不论采取何种浸提步骤,在  $0.1\text{—}2\text{mol/L NaOH}$  范围内,其浓度越高,土壤有机磷被水解成无机磷的数量越大,所

表 3 不同方法所提取的中度活性有机磷量 ( $\mu\text{g/g}$ )

Table 3 Contents of moderately labile organic P extracted by different methods

土壤编号 Soil sample No.	1mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$ 直接提取 Direct extraction with 1mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$	1mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$ 提取 液调节至 pH3 Extraction with 1mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$ (pH3)	先用 0.1mol/L NaOH 移去稳定性 有机磷后,再用 1mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$ 提取 Extraction with 1mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$ after removing stable organic P by 0.1mol/L NaOH
4	38	22	27
11	104	63	87

表 4 不同浓度的 NaOH 提取的无机磷量和稳定性有机磷量 ( $\mu\text{g/g}$ )

Table 4 Soil contents of inorganic P and stable organic P extracted with NaOH of different concentrations

土样预处理 Pretreatment of soil sample	0.1mol/L NaOH		0.5mol/L NaOH		1mol/L NaOH		2mol/L NaOH	
	无机磷 Inorganic P	稳定性 有机磷 Stable organic P	无机磷 Inorganic P	稳定性 有机磷 Stable organic P	无机磷 Inorganic P	稳定性 有机磷 Stable organic P	无机磷 Inorganic P	稳定性 有机磷 Stable organic P
1mol/L $\text{H}_2\text{SO}_4$ 预处理后的土样 <sup>1)</sup>	19.8	97.4	40.9	88.5	52.2	66.9	70.6	57.6
0.5mol/L $\text{NaHCO}_3$ 预处理后的土样 <sup>2)</sup>	73.1	11.5	84.0	93.0	95.4	73.8	111	61.5

1) 分析样本为 4 号土样。1mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  预处理土样,指用 Bowman-Cole 法,以 1mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  预处理后的残土样本,再加 NaOH 振荡 6 小时的测定结果。

2) 0.5mol/L  $\text{NaHCO}_3$  预处理土样指用本文改进法,以 0.5mol/L  $\text{NaHCO}_3$  预处理后的残土样本,再加 NaOH 进行超声波处理 10 分钟,振荡 4 小时的测定结果。

测得的稳定性有机磷值越小<sup>5)</sup>。显然用 0.5 mol/L NaOH 作浸提剂必然会使土壤稳定性有机磷的实际值下降,而以 0.1mol/L NaOH 作浸提剂则较理想。

从表 5 可看出,按 Bowman-Cole 法的浸提步骤对预先用 1mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  处理之后的残土,分别以 0.1mol/L 和 0.5mol/L NaOH 浸提之,所获得的含稳定性有机磷的浸提液,调节 pH 1—1.5, 将其分离成 FA- $\text{P}_0$  与 HA- $\text{P}_0$  两种组分进行测定。其结果是 0.1mol/L NaOH 作浸提剂的 HA- $\text{P}_0$ /FA- $\text{P}_0$  的比值比 0.5mol/L NaOH 要大得多。0.5mol/L NaOH 导致了高稳性有机磷数量下降。因此,要使 HA- $\text{P}_0$ /FA- $\text{P}_0$  的比值更接近土壤实际值,亦以 0.1mol/L NaOH 作浸提剂较为恰当。

再者,鉴于 Bowman-Cole 法用 NaOH 溶液浸提稳定性有机磷组分的时间长达 6 小时,也待改进。从图 2 可见,以 0.1mol/L NaOH 作浸提剂采用超声波处理提取土壤稳定性

表 5 不同浓度的 NaOH 所提取的 HA-P<sub>0</sub> 和 FA-P<sub>0</sub> 的含量<sup>1)</sup>Table 5 The contents of HA-P<sub>0</sub> and FA-P<sub>0</sub> extracted with NaOH of different concentrations

土样编号 Soil sample No.	0.1mol/L NaOH			0.5mol/L NaOH		
	FA-P <sub>0</sub> (μg/g)	HA-P <sub>0</sub> (μg/g)	HA-P <sub>0</sub> / FA-P <sub>0</sub>	FA-P (μg/g)	HA-P <sub>0</sub> (μg/g)	HA-P <sub>0</sub> / FA-P <sub>0</sub>
4	82.4	15.1	0.18	83.8	5.8	0.07
11	61.3	23.5	0.38	68.5	6.1	0.09

1) 土样均按 Bowman-Cole 法, 用 1mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 处理后的残土样本加入两种浓度的 NaOH, 振荡 6 小时。

有机磷 (包括 HA-P<sub>0</sub> 和 FA-P<sub>0</sub>) 在 0—10 分钟的处理时间内, 土壤稳定性有机磷总量, HA-P<sub>0</sub> 量, FA-P<sub>0</sub> 量, 均呈直线上升, 而在 10 分钟后, 再延长处理时间其量不再增加。表明

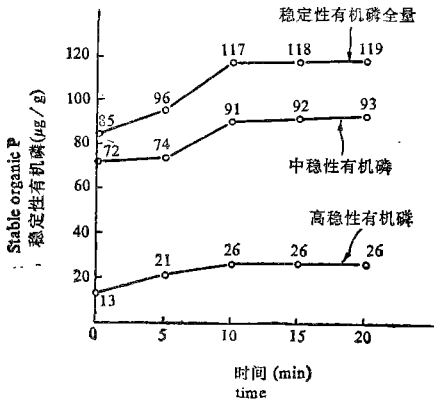


图 2 超声波处理时间与酸性水稻土稳定性有机磷含量的关系曲线<sup>1)</sup>

Fig. 2 The relationship curves between the time of ultrasonic treatment and the contents of stable organic P in the acid paddy soil

超声波处理时间以 10 分钟为宜。从表 6 还可看出, 以 0.1mol/L NaOH 作浸提剂, 超声波处理 10 分钟后的土壤浸提液分别以 1、3、4、6 小时的振荡时间处理, 其中振荡时间为 4 小时者, 土壤稳定性有机磷, HA-P<sub>0</sub> 与 FA-P<sub>0</sub> 的数量均可达到最高值。这可以认为, 此时间是浸提稳定性有机磷的最佳效果。同 Bowman-Cole 法相比, 测定稳定性有机磷以超声波处理 10 分钟, 可以缩短两个小时的振荡时间。

## (二) 土壤有机磷有效性分组法的改进法

综合上述 3 方面的研究成果, 本文提出了将土壤有机磷分为四个组分的改进法。活性有机磷, 指土样预先用氯仿处理后, 能溶于 0.5mol/L NaHCO<sub>3</sub> 易矿化又易为植物吸收的组分; 中度活性有机磷, 指能溶于 1mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 较易矿化又较易为植物吸收的组分; 中稳性有机磷, 指能溶于 0.1mol/L NaOH, 在 pH 1—1.5 的条件下不发生沉淀而较难矿化又较难为植物吸收的组分; 高稳性有机磷, 指能溶于 0.1mol/L NaOH, 在 pH 1—1.5 的条件下产生沉淀而很难矿化又难为植物吸收的组分。其具体测定步骤见图 3。

采用本文改进法和 Bowman-Cole 法分别对鄂东南 12 个代表性酸性水稻土样本进行测定的对比结果表明 (表 7), 除改进法与 Bowman-Cole 法所提取的 12 个土样的四种有

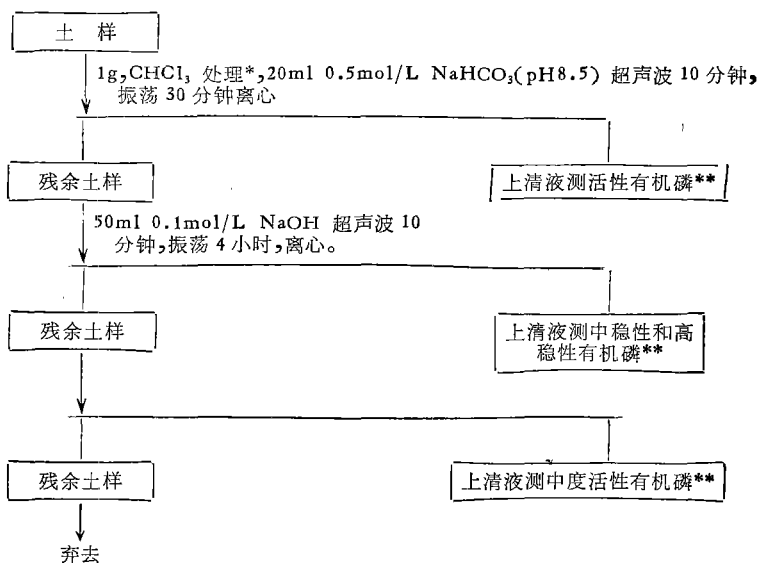
1) 土样 4 号, 以 0.1mol/L NaOH 浸提, 振荡 6 小时, 未超声波处理与超声波处理的测定结果。

表 6 超声波处理后,不同振荡时间 0.1mol/L NaOH 所提取的 HA-P<sub>o</sub> 和 FA-P<sub>o</sub> 的含量<sup>1)</sup> (μg/g)

Table 6 The contents of HA-P<sub>o</sub> and FA-P<sub>o</sub> in the soil extracted with 0.1mol/L NaOH in case of different shaking time after ultrasonic treatment

有机磷形态 Form of organic P	振荡时间(小时) Shaking time (hr)			
	1	3	4	6
FA-P <sub>o</sub>	65.9	71.5	92.6	91.0
HA-P <sub>o</sub>	14.1	25.2	27.6	27.2
(FA-P <sub>o</sub> ) + (HA-P <sub>o</sub> )	80.0	96.7	120.2	118.2

1) 为 4 号原始土样,加入 0.1mol/L NaOH 后,超声波处理 10 分钟,再按不同时间进行振荡。



\* 氯仿蒸馏处理同 Hedley-stewart-chauhan 法<sup>[4]</sup>

\*\* 各有机磷组分的测定:  $P_o = P_T$  (浸提液用  $H_2SO_4-HClO_4$  消化后的磷测定值) -  $P_i$  (未消化液的磷测定值), 其中, 中稳性  $P_o = FA - P_o$ ; 高稳性  $P_o = HA - P_o$ 。

图 3 酸性水稻土有机磷分组的流程图

Fig. 3 Flow scheme of fractionating organic P in acid paddy soil

机磷组分数之和均很接近灼烧法所测得的有机磷总量而具有可靠性之外,改进法比 Bowman-Cole 法普遍地提高了活性有机磷的数量和中度活性有机磷的质量,增加了稳定性有机磷所应有的数量,改善了 HA-P<sub>o</sub> 与 FA-P<sub>o</sub> 的比值,使土壤有机磷对植物有效性的分组更合理更完善。

### (三) 改进法的某些机理探讨

几种有机磷化合物在改进法和 Bowman-Cole 法的各级浸提剂中可溶性的比较表明(表 8),卵磷脂、脑磷脂、核糖核酸钠、甘油磷酸钠等几乎都全溶于 0.5mol/L NaHCO<sub>3</sub> 中,这与贺铁等人<sup>[1]</sup>的结果一致。采用本文改进法的浸提顺序,与贺铁等人研究 Bowman-Cole 法的结果比较<sup>[1]</sup>,植酸铁则更绝大部分溶于 0.1mol/L NaOH 溶液中,比 Bowman-

表 7 两种方法所测的土壤有机磷四种组分的内容量  
 Table 7 The contents of four distinct fractions organic P in soil determined by two methods

土壤编号 Soil sample No.	Bowman-cole 法 Bowman-Cole method								改进法 Modified method			
	活性有机磷 Labile organic P ( $\mu\text{g/g}$ )	中度活性有机磷 Moderately labile organic P ( $\mu\text{g/g}$ )	中稳定性有机磷 Moderately stable organic P ( $\mu\text{g/g}$ )	高稳定性有机磷 Highly stable organic P ( $\mu\text{g/g}$ )	总含量 Total ( $\mu\text{g/g}$ )	浸提 $P_0$ 灼烧 $P_0$ $\frac{P_0 \text{ extracted}}{P_0 \text{ ignited}}$	活性有机磷 Labile organic P ( $\mu\text{g/g}$ )	中度活性有机磷 Moderately labile organic P ( $\mu\text{g/g}$ )	中稳定性有机磷 Moderately labile organic P ( $\mu\text{g/g}$ )	高稳定性有机磷 Highly stable organic P ( $\mu\text{g/g}$ )	总含量 Total ( $\mu\text{g/g}$ )	浸提 $P_0$ 灼烧 $P_0$ $\frac{P_0 \text{ extracted}}{P_0 \text{ ignited}}$
1	5.98	54.6	52.0	3.86	116.44	0.95	9.03	9.14	63.8	26.7	108.67	0.88
2	6.35	62.0	62.0	3.24	133.59	0.95	7.48	10.2	78.4	31.4	127.48	0.90
3	6.14	44.1	54.7	3.66	108.6	0.80	8.23	9.16	69.7	25.4	112.49	0.83
4	10.6	68.1	83.2	5.16	167.06	0.94	17.0	27.5	92.6	22.8	159.9	0.90
5	7.70	62.5	70.3	3.34	143.84	0.90	15.9	23.9	88.9	20.1	148.8	0.94
6	9.26	65.3	80.7	5.17	160.43	0.96	16.5	26.8	93.2	22.7	159.2	0.95
7	8.84	135	42.6	6.46	192.9	0.89	15.9	58.5	91.1	19.6	185.1	0.85
8	7.80	53.1	50.4	6.18	117.48	1.01	17.0	28.7	61.4	7.97	115.07	0.99
9	7.70	86.8	73.9	6.46	174.86	0.94	15.5	46.8	89.6	14.3	166.2	0.89
10	13.8	162	67.6	5.16	248.56	0.93	22.3	120	89.1	15.7	247.1	0.93
11	19.8	156	68.2	5.71	249.71	0.94	25.5	87.1	86.1	19.9	218.6	0.82
12	12.0	198	53.9	4.84	268.74	0.96	21.9	137	81.8	13.2	253.9	0.91

表 8 改进法若干有机磷化合物的可溶性和水解率<sup>1)</sup>

Table 8 The solubility and hydrolysis rates of some organic phosphates extracted by the modified method

有机磷化合物种类 Organic P compound	0.5mol/L NaHCO <sub>3</sub>		0.1mol/L NaOH		1mol/L H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
	水解脱磷 Hydrolyzable P(P%)	可溶解的有机磷 Soluble organic P (P%)	水解脱磷 Hydrolyzable P (P%)	可溶解的有机磷 Soluble organic P (P%)	水解脱磷 Hydrolyzable P(P%)	可溶解的有机磷 Soluble organic P (P%)
卵磷脂	0.51	93.02	—	—	—	—
脑磷脂	0.98	95.04	—	—	—	—
核糖核酸钠	0.03	97.50	—	—	—	—
β-甘油磷酸钠	2.05	98.89	—	—	—	—
植酸钙	0.05	4.88	0.54	5.26	13.07	74.26
植酸铁	1.53	5.16	9.02	74.35	0.04	5.70

1) 各种有机磷化合物药品分别进行了水提液无机磷与有机磷的含量分析;

$$\text{水解脱磷}\% = \frac{\text{浸提液无机磷量} - \text{水提液无机磷量}}{\text{有机磷总量}} \times 100;$$

$$\text{可溶解的有机磷}\% = \frac{\text{消化浸提液磷总量} - \text{浸提液无机磷量}}{\text{有机磷总量}} \times 100.$$

表 9 相关系数矩阵

Table 9 The correlation coefficient matrix

方法 Method	变量 Variable	x <sub>1</sub> 活性有机磷 Labile organic	x <sub>2</sub> 中度活性有机磷 Moderately labile organic P	x <sub>3</sub> 中稳性有机磷 Moderately stable organic P	x <sub>4</sub> 高稳性有机磷 Highly stable organic P
Bowman-Cole 法	x <sub>1</sub>	1.0000			
	x <sub>2</sub>	0.733	1.000		
	x <sub>3</sub>	0.250	-0.149	1.000	
	x <sub>4</sub>	0.375	0.372	-0.0187	1.000
改进法	x <sub>1</sub>	1.0000			
	x <sub>2</sub>	0.811	1.00		
	x <sub>3</sub>	0.464	0.337	1.0000	
	x <sub>4</sub>	-0.646	-0.547	0.0031	1.000

Cole 法的可提取性强得多,提高了稳定性有机磷应有的数量;植酸钙仍然很大部分溶于 1mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中,而与 Bowman-Cole 法较为一致。

为了证明改进法和 Bowman-Cole 法所划分的土壤有机磷组分是否区分了不同性质的土壤有机磷化合物及区分程度的大小,本文应用主成分分析法对前述表 7 中 12 个土样



表 10 特征向量和特征值  
Table 10 The eigenvector and eigenvalue

特征向量 Eigenvector		$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
Bowman-Cole 法	特征值	2.0120	1.0990	0.7185	0.1705
	在总变异中所占比例(%)	50.3	27.5	18.0	4.3
	累积比例(%)	50.3	77.8	95.8	100.0
改进法	特征值	2.5000	1.0046	0.3580	0.1374
	在总变异中所占比例(%)	62.5	25.1	9.0	3.4
	累积比例(%)	62.5	87.6	96.6	100.3

表 11 主成份矩阵  
Table 11 The main components matrix

变量 Variable	Bowman-Cole 法 Bowman-Cole method		改进法 The modified method	
	$C_1$	$C_2$	$C_1$	$C_2$
$x_1$	0.8979	0.2415	0.9544	0.0287
$x_2$	0.8787	-0.2301	0.8957	-0.0333
$x_3$	0.0796	0.9836	0.4949	0.8055
$x_4$	0.6540	-0.1422	-0.7362	0.5564

的土壤有机磷四种组分之间的关系借助电子计算机进行了分析。

从表 9 可看出,两种方法中,变量  $x_1$  (活性有机磷)和变量  $x_2$  (中度活性有机磷)的关系均较密切,改进法和 Bowman-Cole 法的相关系数  $r_{12}$  分别为 0.811 和 0.733,其它变量之间的关系均不密切。

表 10 的结果表明,两种方法中,前 3 个因子  $f_1$ ,  $f_2$  和  $f_3$  已基本控制了总变异的 95% 以上,  $f_4$  的贡献较小,可以略去,故影响土壤有机磷的四种组分变化的主要因子是  $f_1$ ,  $f_2$  和  $f_3$ , 其中改进法的  $f_1$  较 Bowman-Cole 法的  $f_1$  为大,说明  $f_1$  在改进法中的贡献比 Bowman-Cole 法中的贡献大。

又从表 11 可见,按累积比例 75% 选取的主成分主要有两个(即选取上述  $f_1$  和  $f_2$  两个主要因子),其中 Bowman-Cole 法的  $C_1$  (主成分 1) 主要受  $x_1$  (活性有机磷)、 $x_2$  (中度活性有机磷)和  $x_4$  (高稳性有机磷)控制,  $C_2$  主要受  $x_3$  (中稳性有机磷)控制;而改进法的  $C_1$  则主要受  $x_1$  和  $x_2$  控制,  $C_2$  主要受  $x_3$  和  $x_4$  控制。 $C_1$  代表活性有机磷组分,  $C_2$  代表稳定性有机磷组分,说明数学分析也证明了本文改进法比 Bowman-Cole 法的有机磷分组更具有可靠性。

## 参 考 文 献

1. 贺铁, 李世俊, 1987: Bowman-Cole 土壤有机磷分组法的探讨. 土壤学报, 第 24 卷 2 期, 152—159 页。
2. Anderson, G., 1961: A partial fractionation of alkalisoluble soil organic phosphate. *J. Soil Sci.*, 12: 276—285.
3. Bowman, R. A. and Cole, C. V., 1978b: A exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soil. *Soil Sci.*, 125: 95—101.
4. Hedley, M. J., Stewart, J. W. B. and Chauhan, B. S., 1982: Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 970—976.
5. Hong, J. K. and Yamane, I., 1980: Proposal for a more suitable method to extract soil organic phosphorus. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 26(3): 383—390.
6. Jackman, R. H. and Black, C. A., 1951a: Solubility of iron, aluminum, calcium and magnesium inositol phosphates at different pH values. *Soil Sci.*, 72: 179—186.
7. Sharpley, A. N. and Smith, S. J., 1985: Fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 127—130.
8. Sounders, W. M. H. and Williams, E. G., 1955: Observation on the determination of total organic phosphorus in soil. *J. Soil Sci.*, 6: 254—267.

## ON THE FRACTIONATION OF ORGANIC PHOSPHORUS IN ACID PADDY SOIL

Xiong Hengduo

(Biology Center, Wuhan Academy of Agricultural Sciences, 430065)

Li Shijun and Fan Yekuan

(Huazhong Agricultural University)

### Summary

Some problems concerning fractionation of organic phosphorus in acid paddy soils using the Bowman-Cole method were studied and a modified sequential fractionation scheme was proposed. Four organic phosphorus fractions were identified as follows:

1. Labile organic P was extracted with 0.5 mol/L  $\text{NaHCO}_3$  (pH 8.5) after pretreatment of  $\text{CHCl}_3$  fumigation;

2. Moderately labily organic P was extracted with 1 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  after pretreatment with 0.1 mol/L NaOH;

3. Moderately stable P was extracted with 0.1 mol/L NaOH (fulvic acid- $\text{P}_0$ );

4. Highly stable P was extracted with 0.1 mol/L NaOH (humic acid-P).

The study indicated that organic phosphorus compounds with different rates of mineralization, such as RNA,  $\beta$ -glycerophosphoric acid, calcium phytate and iron phytate, could be well divided with the extractants by the modified scheme. Results obtained showed that the modified scheme was much better than the Bowman-Cole method and can be used for the fractionation of organic P in acid paddy soils.

**Key words** Soil organic phosphorus, Fractionation