

关于测定土壤有效磷总量的研究*

陈国孟

(浙江省温州市科学技术委员会,温州 325005)

鲁如坤

(中国科学院南京土壤研究所,210008)

摘 要

本文主要探讨实验室测定土壤有效磷总量的方法。以耗竭试验法^[1]得到的作物吸磷总量为土壤有效磷总量的标准值,研究了一般只用来衡量土壤有效磷相对数量的 Olsen 法、阴离子树脂法、混合树脂法、EDTA + NaHCO₃ 法及 Cowell 法来估计土壤有效磷总量的可能性。结果表明, Cowell 全磷法能比较直接地测定出土壤有效磷总量,两者数值相近并呈极显著相关。Cowell 法提取的有机磷是土壤有效磷总量的一个重要组成部分。多元统计分析揭示了影响土壤有效磷总量的因素除了磷素容量外,还有土壤有机质含量、土壤粘粒含量、土壤磷素临界缓冲力等因素。最后得到的多元方程能比较精细地通过化学分析来定量估计土壤有效磷总量。

关键词 有效磷,总量,测定,评估

测定土壤中磷素的有效量是一个历史悠久的研究课题,但迄今为止,国内外现有的许多方法测得的土壤有效磷值只能标志土壤有效磷水平的相对高低,而不能直接等同于土壤有效磷的实际总量,即真正可供作物(不仅仅是当季作物)吸收的磷量^[2,7]。Bowman 等(1978)^[4]用耗竭试验测定了23种石灰性土壤的有效磷总量(或磷素后效),结果表明传统的 Olsen 法只能提取有效磷总量的50%,用 Cowell 法(即是 Cowell 无机磷)能提取约80%,而阴离子交换树脂提取的磷和同位素可交换性磷均大致相当于土壤有效磷总量。也有人认为同位素可交换性磷与作物吸磷相关性不好^[5]; Dalal (1985)^[8]表明阴离子交换树脂提取的磷也少于作物吸磷量。总的说来,目前还没有一种比较公认的化学物理方法能直接测定出土壤有效磷总量,以代替复杂费时的作物耗竭试验。显然,研究土壤有效磷总量不仅是一个理论问题,而且也是一个实际问题,是正确评价土壤磷素供应潜力(后效)和科学制定长期施肥方案的基础^[2]。因此,进一步探索现有众多有效磷测定方法经过适当的改进和数学模型估计土壤有效磷总量的可能性是有意义的。

一、材料和方法

(一) 供试土壤 基本性质及采集地点见表1。1984年至1986年间用这14种土壤在温室进行

* 本研究系土壤磷素后效的积累与评价课题之第一部分。

表 1 供试土壤基本性质
Table 1 Basic properties of soils

编号 No.	采集地点 Location	土壤类型 Soil type	pH	有机质 (g/kg) O.M	粘粒 (g/kg) Clay	全磷 (g/kg) Total P	有机磷 (g/kg) Organic P	磷最大 缓冲能力 MBC	磷临界 缓冲能力 CBC
1	江苏溧阳	板浆白土	6.0	18.4	269	0.38	0.16	4394	635
2	江苏武进	白土	5.8	22.8	211	0.40	0.14	3918	369
3	江苏无锡	白土	6.3	19.6	217	0.37	0.12	2387	429
4	江苏沙洲	夹沙土	8.4	17.5	133	0.78	0.17	1118	415
5	江苏常熟	马棚土	7.7	37.8	285	0.66	0.27	5094	428
6	江苏吴县	黄泥土	6.4	35.3	163	0.57	0.16	4728	331
7	江苏吴江	青紫泥	6.7	41.5	253	0.52	0.18	2006	294
8	江苏太仓	夹沙土	8.7	20.0	162	0.77	0.18	1354	342
9	江西余江	Q ₃ 水稻土	6.1	18.0	98	0.25	0.11	1431	290
10	江西泰和	Q ₄ 水稻土	5.6	17.8	265	0.36	0.15	2786	586
11	浙江长兴	淀簕白土	5.9	24.8	279	0.34	0.08	1689	533
12	上海青浦	青黄泥	6.7	22.8	286	0.51	0.10	3581	425
13	浙江兰溪	Q ₄ 水稻土	5.3	12.2	390	0.31	0.06	9151	1274
14	广西柳州	石灰岩育水稻土	7.4	28.6	48.0	0.51	0.17	1178	260

了磷素耗竭盆栽试验,共栽了稻—稻—麦—稻—稻—稻五季作物,由于原始土壤的有效磷水平并不高,再加上连栽试验期间不施任何磷素,故到种植第五季水稻时都显示严重缺磷反应,因此在本项研究中把前四季作物在单位土壤中的累计吸磷量 ($\mu\text{gP/g}$) 作为原始土壤(供试土壤)的有效磷总量,以 TAP 表示。

(二) Cowell 无机磷的测定 称过 60 目风干土 1.00 克,加入 100ml 0.5mol/L NaHCO_3 (pH 8.5) 溶液,在 20°C 和 25°C 下,连续振荡 13 小时,再静止平衡 11 小时,测定过滤液的磷浓度^[3],再转换成每克土壤所含的磷微克数,以 P_{ci} 表示。

(三) Cowell 全磷的测定 将上述(二)中的过滤液用高氯酸消化分解 Cowell 提取液中的有机磷化合物,测定磷浓度并得到每克土壤中含有的有机磷微克数,与(二)相加,得全磷量,以 P_{ct} 表示。

(四) 阴离子交换树脂 (AER) 提取磷的测定 据 Sibberson (1978)^[13] 修改而成。将 717 强碱型阴离子交换树脂的离子形式即 OH^- 用 NaHCO_3 溶液浸泡转换成 HCO_3^- 离子形式,风干后,称 5.00 克树脂封装于涤纶纱袋中。称过 60 目风干土 3.00 克加入 100 ml 蒸馏水和一只树脂袋后于 25°C 下平衡 24 小时,中间间隙振荡多次,累计时间为 6 小时。取出纱袋用 0.5mol/L HCl 解吸树脂吸附的磷,并测定其浓度,再换算成每克土壤中含有磷微克数,以 P_{ar} 表示。若 HCl 解吸液经高氯酸消化后再测定磷浓度,则表示为 P_{art} 。

(五) 阴、阳离子交换树脂混合提取磷的测定 基本上采用上述方法,只是在平衡时加入 732 型阳离子交换树脂 5.00 克 (风干重),加入前树脂的阳离子通过 HCl 溶液浸泡将原来的 Na^+ 转换成 H^+ 。测定的磷用 P_{mr} 表示。

(六) EDTA 的 NaHCO_3 溶液提取磷的测定 称 2.50g 过 60 目风干土,加入 10 mmol/L $\text{EDTANa}_2 + 0.5\text{mol/L Na}(\text{HCO}_3)_2$ 100ml,在 25°C 下振荡半小时。提取液中的磷浓度测定参照 Alexander (1970)^[4] 所采用的方法。最后换算成每克土壤的含磷微克数,以 P_e 表示。

(七) 缓冲能力的测定 称 2.50g 60 目风干土多份,加入 25ml 不同磷浓度的标准液 (含 0.01 mol/L CaCl_2), 25°C 下连续振荡 8 小时,再静置 16 小时,测定出磷平衡浓度,并由此计算出土壤磷吸附量和磷吸附等温线方程。在方程中取磷平衡浓度为零时得到的斜率即为土壤磷的最大缓冲能力,

用 MBC 表示。通常情况下土壤溶液中的磷浓度临界值是 $0.1\mu\text{g/g}$, 因此在方程中取磷平衡浓度为 $0.1\mu\text{g/g}$ 时可以得到土壤磷的临界缓冲能力, 以 CBC 表示。

二、结果与讨论

(一) 不同化学方法测定的有效磷值与土壤有效磷总量的关系

此处采用了五种提取土壤有效磷方法, 即 Olsen、Cowell、阴离子树脂、阴阳离子树脂混合及 EDTA 的 NaHCO_3 溶液, 而且具体采用了 9 种有效磷指标, 即 P_{ol} (Olsen 磷)、 $P_{ci}(20^\circ\text{C})$ (Cowell 无机磷)、 $P_{ct}(20^\circ\text{C})$ (Cowell 全磷)、 $P_{ci}(25^\circ\text{C})$ (Cowell 无机磷)、 $P_{ct}(25^\circ\text{C})$ (Cowell 全磷)、 P_{ar} (阴树脂磷)、 P_{art} (阴树脂全磷)、 P_{mr} (混合树脂磷) 和 P_e (EDTA 磷)。9 种指标的实测值和通过耗竭试验得到的土壤有效磷总量 TAP 见表 2。

表 2 土壤有效磷测定值 ($\mu\text{g/g}$)

Table 2 Measurement results of available P in soils

土壤 Soils	土壤有效 磷总量 TAP	不同方法测得的有效磷值 Available P measurements with different methods								
		P_{ol}	P_{ar}	P_{art}	P_{mr}	P_e	20°C P_{ci}	P_{ct}	25°C P_{ci}	P_{ct}
1	35.4	6.0	10.9	10.5	12.9	17.5	21.2	33.7	27.8	41.6
2	25.7	3.4	9.6	9.4	48.8	13.9	14.1	26.8	18.5	30.4
3	37.7	4.9	14.2	16.1	53.4	19.1	15.4	27.5	20.7	35.8
4	50.7	10.8	13.4	18.0	62.9	42.0	32.2	41.8	38.4	50.7
5	32.2	5.8	18.6	20.5	204.8	32.9	21.3	32.2	22.8	34.9
6	50.6	7.0	16.4	16.6	133.6	21.9	26.3	37.6	30.1	42.5
7	70.0	8.7	29.8	30.0	133.9	29.6	33.3	46.7	35.3	51.4
8	33.8	9.5	32.0	29.5	480.0	59.5	24.2	34.4	26.8	42.9
9	36.2	7.1	11.4	11.7	16.3	20.0	19.4	33.4	24.1	41.7
10	31.8	7.5	11.3	9.5	9.2	21.9	24.9	36.6	35.1	53.6
11	44.4	5.6	11.1	10.1	20.7	19.6	20.4	35.2	25.5	43.7
12	52.4	8.5	20.6	21.3	93.9	25.5	33.5	45.0	41.0	47.6
13	17.6	3.9	5.9	4.3	3.0	13.0	15.9	20.3	21.1	27.8
14	62.8	9.0	33.6		69.5	35.4	25.6	35.9	31.1	53.2
平均	41.5	6.0	16.3	16.0	95.9	26.6	23.4	34.8	28.5	42.7

不同方法间的相互关系见表 3。 P_{ol} 与 P_{ci} 、 P_{ct} 、 P_{ar} 及 P_e 显著相关, P_{ar} 与 P_e 、 $20^\circ\text{C}P_{ci}$ 、 $20^\circ\text{C}P_{ct}$ 、 $25^\circ\text{C}P_{ci}$ 存在一定的相关性, P_{mr} 与 P_e 有很好的相关性, 但 P_{mr} 和 P_e 与 Cowell 磷均不存在相关性。此外, 4 种 Cowell 指标间均在 0.001 显著水平上相关。

1. Olsen 法: Olsen 法即 0.5 mol/L NaHCO_3 法是国内外比较常用的一种方法(史陶钧等 1979^[1]; Walmsley 等 1973^[14]; Keramidas 等 1983^[15]), 但主要用来反映土壤磷对当季作物的有效性, 因此可以说 Olsen 磷是速效磷。从表 2 可以看出 P_{ol} 的平均值只有 $6.9\mu\text{gP/g}$, 是土壤有效磷总量 TAP 平均值 $41.5\mu\text{gP/g}$ 的 17%, 因此 Olsen

表 3 不同有效磷测定方法间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients among the methods of determining available P in soils

	P_{ol}	20°C P_{ct}	20°C P_{ci}	25°C P_{ct}	25°C P_{ci}	P_{ar}	P_{mr}
P_e	0.768**	0.400	0.488	0.418	0.015	0.789***	0.825***
P_{mr}	0.395	0.166	0.218	0.304	0.344	0.652*	
P_{ar}	0.722**	0.558*	0.599*	0.560*	0.428		
25°C P_{ci}	0.804***	0.880***	0.946***	0.848***			
25°C P_{ct}	0.833***	0.834***	0.797***				
20 °C P_{ci}	0.853***	0.935***					
20°C P_{ct}	0.788***						

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$

方法只提取了很少一部分土壤有效磷, P_{ol} 仅能指示土壤有效磷总量的相对水平。图 1 是 P_{ol} 与 TAP 的线性关系图, 两者极显著的相关性表明将 Olsen 磷转换成土壤有效磷总量是可能的, 但是这种转换的误差是很大的, 因为图 1 中方程的决定系数即 r^2 只有 46.6%。

2. 阴离子交换树脂法: 从机理上来说, 用阴离子交换树脂吸附土壤溶液中的磷要比用化学试剂溶解土壤中的固相磷更接近于植物根系吸收磷的情况。从表 2 可以看出, 阴树脂磷 P_{ar} 的平均值为 $16.3 \mu\text{gP/g}$, 是 Olsen 磷的 2.4 倍, 并相当于土壤有效磷总量的 41.6%。图 2 表明 P_{ar} 与 TAP 呈极显著相关, 回归系数 b 也比较接近于 1, 大大小

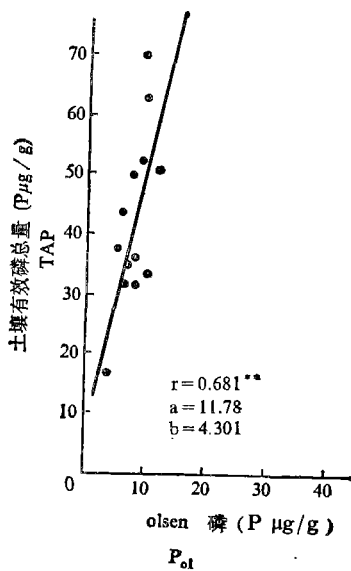


图 1 Olsen 磷与土壤有效磷总量的关系
(**表示显著水平为 0.01)

Fig. 1 Relationship between Olsen-P (P_{ol}) and the total amount of available P (TAP) in soils (** $p < 0.01$)

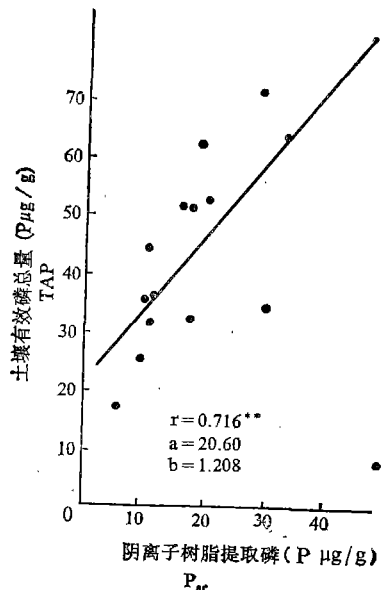


图 2 阴树脂磷与土壤有效磷总量的关系
(**表示显著水平为 0.01)

Fig. 2 Relationship between anion exchange resin extractable P (P_{ar}) and the total amount of available P (TAP) in soils (** $p < 0.01$)

于 P_{o1} 与 TAP 的回归系数 ($b = 4.301$)。因此从总体上看,阴离子树脂法在估计土壤有效磷总量时要优于 Olsen 法,这与不少研究者的报道是一致的^[10,13]。但是 P_{ar} 的绝对值与土壤有效磷总量相比仍然明显偏小,也就不可能直接反映有效磷的实际总量。

在本试验中,用高氯酸消化阴离子树脂的磷解吸液以期分解树脂所可能吸附的有机磷化合物。分析结果(表 2)表明,消化后测得的阴离子树脂全磷 P_{art} 与没有经过消化测得的 P_{ar} 大致相等。因此,本实验中阴离子交换树脂没有从土壤中吸附带负电荷的有机磷化合物。

3. 混合树脂法: 阴离子交换树脂在吸附土壤磷素时会由于土壤溶液中 Ca^{2+} 浓度的不断上升而受到抑制^[9],而在田间情况下,作物在吸磷的同时能吸收 Ca^{2+} 及其他阳离子,因此使得阴离子树脂提取的磷常小于实际作物吸磷量。本研究中,专门设计了混合树脂提取有效磷的方法,即在阴离子树脂方法中加入阳离子树脂,使之能同时以一定比例从土壤中吸附阴阳离子如 $H_2PO_4^-$ 、 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 等,同时两种树脂的离子形式均预先分别转化为 H^+ 和 HCO_3^- ,当树脂从土壤中吸附磷和钙等离子时能等当量地释放出 H^+ 和 HCO_3^- ,这些设计均模拟了作物根系吸收元素时的机理。显然,从理论上讲,混合树脂法将优于阴离子树脂法或阳离子树脂法(目前尚无人单独用阳离子树脂来提取土壤磷)。但从实验结果来看(表 2),混合树脂法测得的有效磷平均值达到 $95.9 \mu gP/g$,这远超过了土壤有效磷总量,两者相关性也很差。由于实验时间和条件的限制,本课题未能进一步探讨混合树脂法的合理实验条件。与本研究同时间 Dalal (1985)^[8] 也研究了混合树脂法,表明该法比阴离子树脂法能更好地评估土壤有效磷总量(有效磷的容量状况)。他所采用的树脂离子形式分别为 Na^+ 和 Cl^- ,其他一些实验条件也与本研究有较大区别。因此,对混合树脂法的实验条件及适用范围作进一步探讨是有意义的。

4. EDTA + $NaHCO_3$ 法: 从表 2 中可以看出,EDTA 和 $NaHCO_3$ 的混合液提取的土壤磷数量 P_e 要显著大于 P_{o1} 和 P_{ar} ,但 P_e 与土壤有效磷总量的相关性不好,即使把偏离最大的 8 号土除去,两者的相关系数也只有 0.658,仅达到 0.05 显著水平。从机理上来说,EDTA 法主要是通过对土壤阳离子的络合使土壤中的磷游离出来。有些研究表明用络合剂 EDTA 或 $NH_4HCO_3 + DTPA$ 提取的土壤磷素与当季作物的吸磷状况相关很好^[4,12]。另外值得指出的是在 EDTA 等络合剂溶液中使用钼蓝法测定磷浓度时灵敏度会有所下降。

5. Cowell 法: 该法由澳大利亚学者 Cowell 于 1963 年提出。与 Olsen 法相比,前者采用了更大的水土比,达到 100:1,提取时间则长 30 多倍,达到 16 小时(本实验中采用 24 小时)。Cowell 法在国内应用很少,国外应用的 Cowell 磷实际上是指 Cowell 无机磷,因为没有把 Cowell 法提取的有机磷计算在内。从表 2 可以看出,在 20°C 和 25°C 提取温度下 Cowell 无机磷的平均值分别为 23.4 和 $28.5 \mu gP/g$,是 Olsen 磷的 3.4 倍和 4.1 倍。如果将 Cowell 提取液进行消化以分解其中的有机磷化合物,则可得 Cowell 全磷 P_{ct} ,从表 2 中可见,在 20°C 和 25°C 下, P_{ct} 分别为 34.8 和 $42.7 \mu gP/g$, P_{ct}/P_{ci} 比值平均分别为 1.48 和 1.50,也就是说在 Cowell 全磷中有机磷比重达到三分之一左右,可见 Cowell 法能提取相当数量的有机磷。图 3 是 P_{ct} 、 P_{ci} 与土壤有效磷总量的关系,在 20°C 下, Cowell 无机磷与土壤有效磷的相关系数为 0.772,在 0.01 水平上达到显著,

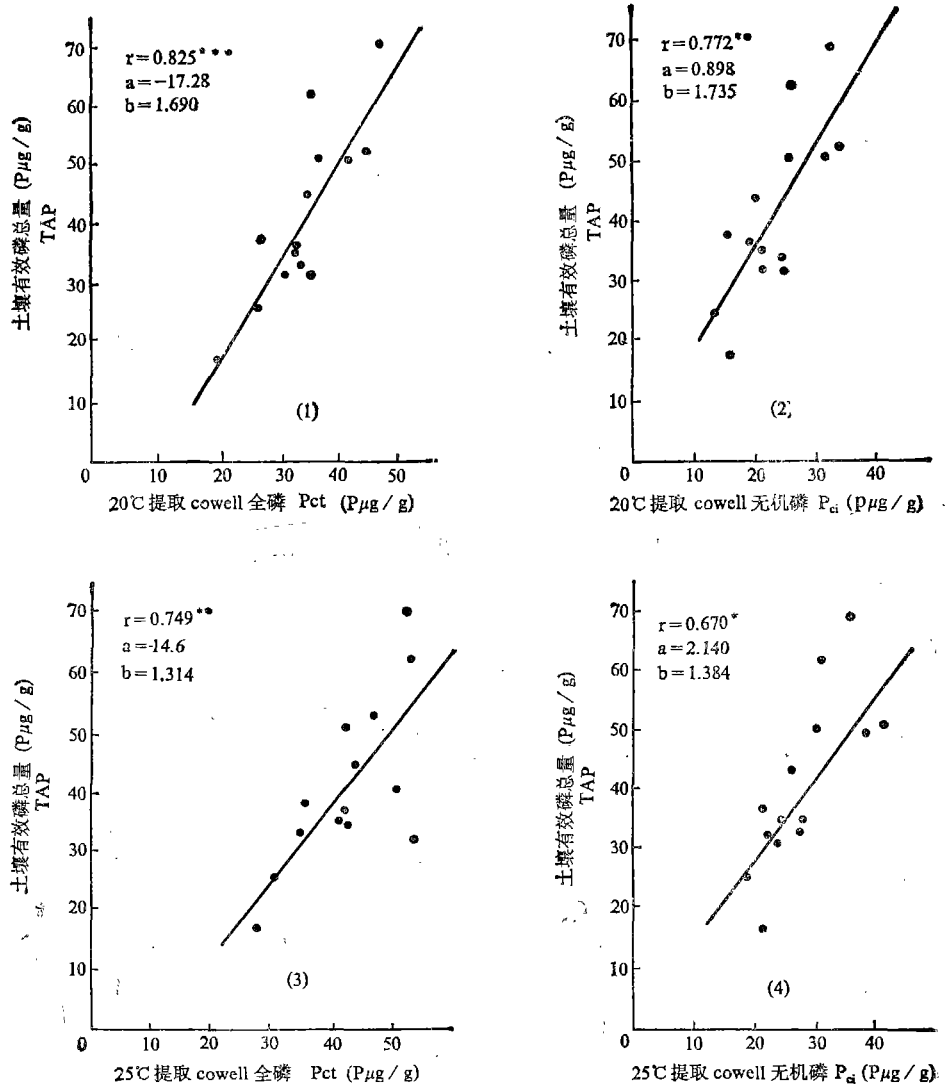


图3 20°C和25°C提取温度下Cowell全磷、无机磷与土壤有效磷总量的关系
(**和***分别表示显著水平为0.01和0.001)

Fig. 3 Relationship between Cowell total P or inorganic P (P_{ct} or P_{ci}) and the total amount of available P(TAP) in soils at the extracting temperatures of 20°C and 25°C
(* and *** denote $p < 0.05$ and $p < 0.001$ respectively)

而若采用 Cowell 全磷,则相关系数达 0.825,显著水平提高到 0.001(图 3 中(1)、(2));在 25°C 下,则分别为 0.670 ($p < 0.05$) 和 0.749 ($p < 0.01$) (图 3 中(3)、(4))。由此可见, Cowell 提取剂在将有机磷计算在内的情况下,与土壤有效磷总量的相关性有了显著提高,尤其是在 20°C 条件下, P_{ct} 与土壤有效磷总量 TAP 的相关系数是以上所有方法和指标中最高的一种。此外, Cowell 法提取的有效磷测定值已经比较接近土壤的有效

磷总量,明显高于 Olsen 方法和树脂法,25℃ 条件下 P_{ct} 的平均值已基本与 TAP 相当(分别为 42.7 和 41.5 $\mu\text{gP/g}$)。因此, Cowell 全磷是所有指标中大致能反映土壤有效磷总量的直接指标。

(二) 土壤性质对土壤有效磷总量的影响

Cowell 全磷虽然与土壤有效磷总量的相关性很高,但是土壤有效磷总量的变异中 Cowell 全磷还是只能解释 56.0—68.1% (即 25℃ 和 20℃ 下相关系数的平方 r^2 值,也即为相关方程的决定系数)。显然要精确地估计土壤有效磷总量,就必须考虑其他因素的影响,以弥补 Cowell 全磷指标的不足。

表 4 是若干土壤性质与土壤有效磷总量的简单相关系数。从中可见,土壤有机质(O. M)和临界缓冲能力(CBC)对土壤有效磷总量影响较大,而土壤粘粒含量(Clay)、有机磷含量、全磷量和最大缓冲能力(MBC)则直接的关系不大。多元逐步回归分析可以进一步分析土壤性质对土壤有效磷总量有影响的一些因素。表 5 列出了应用逐步回归方法得到的估计土壤有效磷总量的多元方程。可见,在仅用 Cowell 全磷 P_{ct} 来估计土壤有效磷总量 TAP 的基础上,若用两因素加以估计即用 P_{ct} 和 CBC 或土壤粘粒或土壤有机质含量(O. M)来同时估计土壤有效磷总量,则方程的相关系数可以从单因子的 0.825 分别提高到 0.898、0.896 和 0.869,若同时考虑三因素即 P_{ct} 、CBC、O.M 或 P_{ct} 、CBC、Clay 或 P_{ct} 、O.M、Clay,则估计土壤有效磷总量的方程的复相关系数可进一步提高到 0.907、0.911、0.939,所以说土壤性质对土壤有效磷总量有着极为显著的影响。

表4 土壤有效磷总量与土壤性质的关系

Table 4 Relationship between some soil properties and the total amount of available P in soils (TAP)

土壤性质 Soil property	粘粒 Clay	有机质 O. M	有机磷 Organic P	全磷 Total P	最大缓冲 能力 MBC	临界缓冲 能力 CBC
简单相关系数 Correlation coefficients	-0.433	0.602*	0.209	0.322	-0.519	-0.600*

* 显著水平为 0.05

表5 土壤有效磷总量的估计方程

Table 5 Regression equations for estimating TAP of soil

序号 No.	回归方程 Multi-regression equation	复相关系数 R
1	$TAP = -17.28 + 1.69P_{ct}$	0.825
2	$TAP = -7.092 + 0.868P_{ct} + 207.37P_{ct}/CBC$	0.898
3	$TAP = -17.07 + 1.498P_{ct} + 0.302P_{ct}/Clay$	0.896
4	$TAP = -8.856 + 1.118P_{ct} + 13.273P_{ct} \cdot O.M$	0.869
5	$TAP = -4.609 + 0.722P_{ct} + 0.676P_{ct} \cdot O.M + 170.8P_{ct}/CBC$	0.907
6	$TAP = -10.878 + 1.072P_{ct} + 128.02P_{ct}/CBC + 0.175P_{ct}/Clay$	0.911
7	$TAP = -8.332 + 0.901P_{ct} + 1.375P_{ct} \cdot O.M + 0.309P_{ct}/Clay$	0.939

注:表中 P_{ct} 均指 20℃ P_{ct} 。

值得指出的是在表 5 的方程式中, 土壤性质均非作为独立的线性因子单项出现在方程之中, 统计分析发现这些性质在当作独立线性项时不能提高方程的相关系数, 而必须把土壤性质与 Cowell 全磷复合为如下因子即 $P_{ct} \times CBC$ 、 $P_{ct}/Clay$ 、 $P_{ct} \times O.M.$ 、 P_{ct}/CBC 时才能显著地提高方程的相关系数从而进入方程。显然, 这种复合的主要意义在于充分反映了变量间的交互作用。此外, 从方程中可以看出, 在 Cowell 全磷测定值一样的情况下, 实际的土壤有效磷总量将随土壤临界缓冲力和粘粒含量的下降而上升, 随 O.M 的提高而提高。

多元分析时还注意到土壤的全磷量和有机磷含量均对土壤有效磷总量的影响不大。

最后说明一下, CBC 是作者重新定义的, 它是土壤磷吸附等温线上当平衡溶液中磷浓度为 $0.1 \mu gP/g$ 这一通常作物正常生长所需的临界浓度处所求得的磷缓冲能力, 因此要比最大缓冲能力 MBC 更能显著地反映对土壤有效磷总量的影响, 从表 4、5 统计分析中也证实了这一点。此外, MBC 一般不能直接测定, 而只能带着较大误差从吸附等温线上外推至磷平衡浓度为零时求出或从吸附方程中计算出来, 而 CBC 则可精确地用实验来测定, 因为 $0.1 \mu gP/g$ 这一浓度附近均可用实验测定其吸附量与平衡浓度的关系。同时, 土壤磷的 CBC 还能反映土壤经过耗竭试验后 Cowell 磷的变化, 如 CBC 与 ΔP_{ct} ($20^\circ C$) 即与耗竭试验前后土壤中无机磷的变化的相关系数为 -0.640 (是在 0.05 水平上显著负相关), 说明土壤临界缓冲能力越大, 则土壤耗竭试验前后 Cowell 无机磷的变化越小。

综上所述, 土壤有效磷总量是一个受多因素控制的变量, 虽然 Cowell 全磷能比较直观地反映土壤有效磷总量的大小, 但要精确地估算, 则必须同时考虑土壤性质的影响, 多因子分析可使方程的估计精度 (即决定系数) 从单因子的 68% 提高到三因子的 80% 以上, 而方程 7 (表 5) 的精度则达到 88.2%, 说明已能较精确地反映土壤有效磷总量的大小。

三、结 论

1. 在 Olsen、阴离子树脂、混合树脂、EDTA 和 Cowell 等五种方法中, 以 Cowell 法估计土壤有效磷总量最佳, 阴离子树脂法次之, Olsen 法再次之, 混合树脂法和 EDTA 法有待进一步研究。

2. 在 Cowell 法中, Cowell 全磷量显著优于 Cowell 无机磷, 并能大致直接反映土壤有效磷总量。Olsen 法只能提取一小部分土壤有效磷 (约 17%), 而阴离子树脂法能提取近一半的土壤有效磷总量 (约 42%)。

3. Cowell 方法能提取对作物有效的有机磷, 在 Cowell 全磷中有机磷的比重占到 24—33%。

4. 土壤有机质、土壤缓冲能力和土壤粘粒含量通过与 Cowell 全磷的交互作用对土壤有效磷总量有显著影响。根据多元回归方程, 测定土壤的若干项性质和 Cowell 全磷, 就能比较精确地代替耗竭试验法来估计土壤有效磷的总量。

5. 土壤临界缓冲能力比最大缓冲能力能更好地反映对土壤有效磷的影响。

参 考 文 献

1. 史陶钧、朱荫涓、鲁如坤, 1979: 酸性土壤有效磷测定方法研究。土壤学报, 第 16 卷 4 期, 409—413 页。
2. 鲁如坤, 1980: 土壤磷素(一)。土壤通报, 第 11 卷 1 期, 43—47 页。
3. 中国土壤学会农业化学委员会, 1983: 土壤农化常规分析法, 95—108 页。科学出版社。
4. Alexander, T. G. and J. A. Robertsen, 1972: EDTA extractable P in relation to available and inorganic P forms in soil. *Soil Sci.*, 114: 69—72.
5. Amer, F., S. Mahdi and A. Alradi, 1969: Limitation in isotopic measurements of label phosphorus in soils. *J. Soil Sci.*, 20: 91—100.
6. Bowman, R. A. and C. V. Cole, 1978: Transformation of organic P substates in soil as evaluated by NaHCO_3 -extraction. *Soil Sci.*, 125: 49—54.
7. Dalal, R. C. and E. G. Hallsworth, 1976: Evaluation of some parameters of soil P availability factors in predicting yield respond and P uptake. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40: 541—546.
8. Dalal, R. C., 1985: Comparative prediction of yield response and P uptake from soil using anion and anion-cation-exchange resins. *Soil Sci.*, 139: 227—231.
9. Elrashidi, M. A. and S. Larsen, 1978: The effect of phosphate withdrawal by plant and an anion exchange resin on phosphate potential of soil. *Plant Soil* 49: 323—331.
10. Enwezor, W. O., 1977: Soil testing for P in some Nigerain soils. *Soil Sci.*, 124: 27—33.
11. Keramidas, V. Z. and N. A. Polyzopowlus, 1983: Phosphorus intensity, quantity and capacity factors of representative Alisol of Greece. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47: 232—236.
12. Labhsetwar, V. K. and P. N. Soitanpaur, 1985: A Comparasion of NH_4HCO_3 -DTPA, NaHCO_3 , CaCl_2 and Na_2 -EDTA soil tests for phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 1437—1440.
13. Sibbesen, E., 1978: An Envestigation of the anion-exchange resin method for soil phosphorus extraction. *Plant Soil* 50: 305—321.
14. Walmsley, D. and I. S. Cornforth, 1973: Methods of measuring available nutrients in India soils II. Phosphorus. *Plant Soil* 39: 93—101.

A STUDY ON DETERMINATION OF TOTAL AMOUNT OF AVAILABLE PHOSPHORUS IN SOILS

Chen Guomeng

(*Science and Technology Commission of Wenzhou City, Wenzhou, 325005*)

Lu Rukun

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008*)

Summary

Relationships between common methods of measuring soil available phosphorus and the actual total amount of available phosphorus (TAP) in soils were studied. TAP was obtained by planting crops successively until the crop was very insufficient in P. Olsen-P (P_{ol}) was estimated at only 17% of TAP, and anion exchange resin P (P_{ar}) at about 42% of TAP. EDTA+NaHCO₃-P (P_e) and ATR mixed CER-P (P_{mr}) were poorly correlated with TAP. Cowell total P (P_{ct}) was approximately equal to TAP. The correlation coefficient between Cowell total P and TAP was 0.825, significant at 0.001 level. The correlative coefficient between Cowell inorganic P (P_{ci}) and TAP was 0.772, significant at 0.01 level. The content of organic P which is available for crop in Cowell total P was about 24—33%. The effects of soil critical P buffering capacity (CBC), organic matter, and clay contents in soil were of great importance. CBC was obtained from the isotherm of P adsorption at equilibrium P concentration of 0.1 $\mu\text{g/g}$, which is better than the MBC (maximum buffering capacity), when analyzing TAP. TAP can be estimated accurately by measuring some soil parameters (including Cowell total P) and using three-factor regression equation of which the decided coefficient (r^2) was above 80%, much higher than that of single-factor (Cowell total P) equation.

Key words Available phosphorus, Estimation