

# 广东省主要水稻土有效磷钾测定法的研究

## I. 水稻土的磷素形态及有效磷的测定\*

谢利昌 余鹿莊 黎秀彬 林忠焱 吴洁英

### 提 要

本文对花岗岩、玄武岩水稻土及三角洲沉积水稻土的磷素形态，有效磷源及其提取方法进行了研究。花岗岩和玄武岩水稻土无机磷以闭蓄态磷为主，铁磷次之，有效磷源主要是铁磷和铝磷。三角洲沉积水稻土无机磷也以闭蓄态磷为主，铁磷和钙磷的相对含量与土壤酸碱度有关。三角洲沉积酸性水稻土的有效磷源为铁磷和铝磷，中性、弱碱性水稻土为铝磷。用6种化学方法对三类水稻土进行了测定，以A值及四造水稻吸磷量、产量作为参比项进行校验，结果以Olsen法最好，并提出了该法对上述土壤的临界值。

自五十年代张守敬和Jackson<sup>[17]</sup>提出土壤磷素分级方法以来，土壤有效磷的测定多依据土壤各种形态磷酸盐的相对含量及其对有效磷贡献大小而选择不同的提取方法<sup>[6][14][15]</sup>。由于各种土壤磷素形态及其有效性不尽相同，因而其有效磷的提取方法也就不一样。过去对广东省一些土壤的磷素形态曾作过一些分析测定<sup>[2][4][8][11][18]</sup>，但对各类型水稻土的有效磷源及其提取方法则研究不多。本试验目的是在研究本省分布广泛的花岗岩赤红壤地区水稻土、玄武岩砖红壤地区水稻土和珠江三角洲沉积物发育的水稻土磷素形态及有效磷源的基础上，筛选出适合于各种类型水稻土的有效磷测定法。

### 材料和方法

#### (一) 供试土壤

取不同肥力水平的水稻土样本36个，其中花岗岩赤红壤地区水稻土（简称花岗岩水稻土），玄武岩砖红壤地区水稻土（简称玄武岩水稻土）各取8个，珠江三角洲沉积物发育水稻土（简称三角洲沉积水稻土）20个。花岗岩水稻土样本7个取自广州市东郊<sup>[5]</sup>，1个取自增城县朱村区。玄武岩水稻土样本取自湛江、遂溪、海康、徐闻等县市。珠江三角洲土壤样本有11个取自属西、北江水系的南海、中山等县市，有9个取自属东江水系的东莞、增城等县。取样深度一般为0~15cm。各种供试土壤主要理化性质列于表1。

#### (二) 盆栽试验

土壤样本经风干、打碎、过3mm筛孔后，花岗岩土壤和玄武岩土壤装入25×30cm

\* 本试验在茹皆耀教授指导下完成，邹昌对、陈少池、郑少玲等同志参加部分工作，刘绍德、卜文球、林秀媛等同志协助测定A值，谨致谢意。

表1 供试土壤主要理化性质<sup>\*</sup>

土类 土 类 号	土壤 名称	取土地点	pH (水 土 2.5 : 1)	机械组成			有机质 (%)	全氮 (%)	全钾 (K <sub>2</sub> O%)	代换量 (毫克当量/ 100克土)
				<0.05 mm (%)	<0.01 mm (%)	<0.001 mm (%)				
水花 稻岗 土岩	8 泥肉田	增城朱村	6.13	59.9	47.3	18.6	2.75	0.133	0.78	8.6
玄武 岩	9 赤土田	遂溪岭北	6.16	55.5	33.4	13.4	1.58	0.084	1.41	5.0
水 稻	10 赤土田	湛江市郊麻章	5.78	43.8	28.2	16.7	1.56	0.085	1.75	5.8
土	11 赤土田	湖光农 场	6.12	45.4	29.9	15.5	3.00	0.145	1.57	8.9
水 稻	12 赤土田	海康英利	5.72	83.9	72.9	42.9	4.26	0.200	1.90	15.6
土	13 赤土田	东方红农 场	6.86	77.2	56.6	26.7	4.25	0.212	1.55	17.6
水 稻	14 乌赤土田	东方红农 场	6.66	84.1	65.9	35.3	4.21	0.228	1.48	20.4
土	15 乌赤土田	东方红农 场	6.36	74.4	61.5	32.3	4.74	0.223	1.53	16.0
三 角 洲	16 乌赤土田	徐闻下桥	5.78	76.7	60.2	28.3	5.64	0.290	1.30	18.2
三 角 洲	17 泥田	南海县农科所	7.75	49.4	24.7	5.8	4.45	0.232	1.84	13.1
沉 积 水 系	18 泥肉田	南海县农科所	7.63	49.6	24.8	5.8	5.11	0.274	1.91	17.0
稻 土	19 泥肉田	南海平洲	7.54	45.3	31.9	6.2	3.65	0.181	2.20	16.5
三 角 洲	20 泥肉田	南海平洲	7.33	65.6	28.7	6.0	2.84	0.159	2.50	14.8
沉 积 水 系	21 泥骨田	中山坦背	7.46	85.4	58.3	19.8	2.28	0.158	2.39	18.6
稻 土	22 泥肉田	中山沙朗	7.45	85.4	58.3	16.7	3.51	0.181	2.48	19.3
三 角 洲	23 泥田	中山沙朗	7.23	74.9	47.8	14.6	2.95	0.195	2.49	19.7
沉 积 水 系	24 油格田	中山坦州	7.43	89.4	56.1	19.8	2.92	0.158	2.84	20.0
稻 土	25 油泥田	中山坦州	7.44	89.5	54.1	18.7	2.99	0.161	2.41	18.5
三 角 洲	26 泥田	中山港口	6.70	77.2	50.1	18.8	3.88	0.216	2.46	20.0
沉 积 水 系	27 反酸田	中山三乡	4.49	96.0	72.5	13.5	4.80	0.216	2.21	14.4
三 角 洲	28 泥肉田	东莞万江	5.35	71.5	40.9	10.2	2.48	0.114	2.73	9.2
沉 积 水 系	29 泥田	东莞万江	5.67	71.5	40.9	12.3	2.17	0.107	2.94	9.6
稻 土	30 泥田	东莞万江	5.26	79.9	51.1	17.4	2.18	0.115	2.57	10.0
三 角 洲	31 泥骨田	东莞万江	5.28	86.0	58.3	16.4	2.40	0.127	2.74	11.2
沉 积 水 系	32 反酸田	东莞麻涌	4.74	93.1	74.5	25.9	4.19	0.192	2.42	15.4
稻 土	33 泥田	东莞麻涌	4.97	91.1	60.0	22.8	2.46	0.150	2.55	15.0
三 角 洲	34 咸田	东莞虎门	5.45	96.6	77.9	33.2	2.55	0.158	2.50	15.9
沉 积 水 系	35 油格田	东莞虎门	4.62	93.1	70.8	29.9	3.16	0.163	2.68	15.6
稻 土	36 泥肉田	增城新塘	5.35	82.4	53.5	14.4	3.12	0.159	2.45	14.1

\* 1~7号土主要理化性质见参考文献<sup>[5]</sup>

塑料盆，每盆装入9公斤；三角洲沉积水稻土装入20×25cm陶瓷盆，每盆装土6公斤。每种土壤设NK、NP、NPK三种处理，三次重复。第一造各处理每公斤土均施尿素0.2克；施磷的处理，每公斤土施过磷酸钙0.6克；施钾的处理，每公斤土施氯化钾0.3克。从第二造起除磷的用量减半外，氮、钾肥的用量不变。连续种植四造水稻，每造于成熟

期收获，分别称稻谷、稻秆产量及测定植株地上部吸收磷、钾的数量。

另用<sup>32</sup>P示踪测定土壤有效磷（A值），每盆装土5公斤，三次重复。示踪磷肥用<sup>32</sup>P（NaH<sub>2</sub><sup>32</sup>PO<sub>4</sub>）标记的过磷酸钙，每盆<sup>32</sup>P用量为245微居里，于水稻乳熟期取样测定，并按Fried和Dean法计算A值。

### （三）分析测定

1. 土壤pH、机械组成，有机质、全氮、全磷、全钾、代换量及植株全磷、全钾的测定<sup>[1]</sup>。

2. 土壤有机磷用灼烧法<sup>[9]</sup>，无机磷形态分级用修改的张守敬—Jackson法<sup>[9]</sup>。

3. 土壤有效磷测定方法要点见表2。

表2 土壤有效磷测定方法要点

方法	浸提剂	土:液	振荡时间	参考文献
Bray 1	0.03N NH <sub>4</sub> F-0.025N HCl	1:10	30分钟	Bray等(1945) <sup>[18]</sup> ; 南京土壤研究所 <sup>[1]</sup>
Bray 2	0.03N NH <sub>4</sub> F-0.1N HCl	1:10	30分钟	Bray等(1945) <sup>[18]</sup>
Olsen	0.5M NaHCO <sub>3</sub> , pH=8.5	1:20	30分钟	南京土壤研究所 <sup>[1]</sup>
Al-Abbas	0.3N NaOH-0.5N Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1:10	5分钟	Al-Abbas(1964) <sup>[14]</sup> ; 南京土壤研究所 <sup>[1]</sup>
0.1N HCl	0.1N HCl	1:10	3分钟	吉尔散诺夫(1931) <sup>[16]</sup>
Mehlich	0.025N H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -0.05N HCl	1:4	5分钟	南京农学院 <sup>[7]</sup>

## 试验结果

### （一）土壤的磷素形态

除个别样本外，供试水稻土磷素形态均以无机磷为主，有机磷占全磷的百分率多在15~30%之间（表3）。

花岗岩水稻土无机磷的含量以闭蓄态磷（O—P）最多，铁磷（Fe—P）次之<sup>[6]</sup>。玄武岩水稻土无机磷也以闭蓄态磷为主，占无机磷总量的42~60%，铁磷次之，占无机磷总量的26~43%；铝磷（Al—P）和钙磷（Ca—P）的含量较低，一般各占无机磷总量的10%以下。三角洲沉积水稻土无机磷也以闭蓄态磷为主，占无机磷总量的45~62%。铁磷和钙磷的含量与土壤酸碱度有关，如西、北江水系的17、18号土为碱性土，铁磷的含量较钙磷低5~7倍，19~26号为中性土，铁磷与钙磷的含量差异较小，而27号土为强酸性土（反酸田），铁磷的含量较钙磷高将近5倍。取自东江水系的样本均为酸性土，铁磷的含量较钙磷高得多。铝磷的含量除第17~20号土较高外，其它样本占无机磷总量的5%以下。

### （二）土壤磷素形态与A值、吸磷量及百分产量的相关性

土壤中各形态磷含量与A值及第一造吸磷量、百分产量的相关性列于表4。各类水稻土有机磷与A值、吸磷量及百分产量等参比项的相关性都没有达到显著水准，表明水稻吸收利用的磷素主要来自无机磷酸盐。花岗岩水稻土，以铁磷与参比项的相关性最

表3 供试土壤各种磷素形态含量 (ppmP)

土 壤 号	全 磷	无 机 磷								有机磷			
		总 量	Al—P		Fe—P		Ca—P		O—P		含 量	占全磷 (%)	
			含 量	占无 机磷 (%)	含 量	占无 机磷 (%)	含 量	占无 机磷 (%)	含 量	占无 机磷 (%)			
花岗 岩水 稻土	8	654.6	538.8	34.2	6.3	234.0	43.4	30.6	5.7	240.0	44.5	114.0	17.4
	9	211.8	101.5	9.6	7.0	36.5	26.7	10.5	7.7	79.9	58.5	75.3	35.6
	10	252.8	153.4	8.5	4.6	53.1	29.0	13.1	7.1	108.7	59.3	69.4	27.5
	11	830.1	660.4	85.8	11.2	287.5	37.5	65.9	8.6	327.0	42.7	63.9	7.7
	12	780.7	580.9	20.5	3.2	213.3	33.3	43.6	6.8	362.7	56.7	140.6	18.0
	13	1058.6	778.7	60.6	6.2	323.8	32.9	95.4	9.7	504.4	52.3	74.4	7.0
	14	1530.8	1137.0	87.4	6.9	448.5	35.6	112.8	9.0	611.6	48.5	270.5	17.7
	15	1040.2	953.4	52.8	5.9	386.3	42.9	65.7	7.3	395.2	243.9	140.2	13.5
三角 洲(西、 沉 积 江 水 稻 土)	16	866.7	699.7	18.6	2.8	220.1	33.2	45.5	6.9	378.7	57.1	203.8	23.5
	17	641.9	474.8	51.7	10.9	21.2	4.5	116.7	24.6	285.2	60.1	167.1	26.0
	18	943.2	722.6	93.2	12.9	22.4	3.1	160.3	22.2	446.7	61.8	220.6	23.4
	19	925.8	801.3	103.3	12.9	184.6	23.0	80.9	10.1	432.5	54.0	124.5	13.4
	20	602.6	456.7	30.4	6.7	85.4	18.7	65.0	14.2	275.9	60.4	145.9	29.2
	21	812.2	618.0	25.2	4.1	110.4	17.9	140.4	22.7	342.0	55.3	194.2	23.9
	22	659.4	519.9	8.2	1.6	101.7	19.6	103.8	20.0	306.2	258.9	139.5	21.2
	23	593.9	430.1	16.7	3.9	80.7	18.8	101.0	23.5	231.7	53.9	163.8	27.6
	24	703.1	524.8	15.1	2.9	102.7	19.6	119.4	22.8	287.6	54.8	178.3	25.4
	25	672.5	496.7	10.2	2.1	99.5	20.0	119.4	24.0	267.6	53.9	175.8	26.1
三角 洲(东、 沉 积 江 水 稻 土)	26	593.9	416.3	9.6	2.3	93.7	22.5	74.6	17.9	238.4	57.3	177.6	29.9
	27	399.1	264.5	4.6	1.7	90.0	34.0	18.9	7.1	151.0	57.1	134.6	33.7
	28	363.6	255.1	9.6	3.8	103.0	40.4	12.1	4.7	130.4	51.1	108.5	29.8
	29	362.5	270.4	10.0	3.7	87.9	32.5	21.1	7.8	151.4	56.0	92.1	25.4
	30	339.4	255.1	4.3	1.7	86.9	34.1	17.2	6.7	146.7	57.5	84.3	24.8
	31	333.0	236.5	5.3	2.2	89.9	38.0	20.6	8.7	120.7	51.0	96.5	29.0
	32	554.6	439.8	12.3	2.8	167.6	38.1	62.5	14.2	197.4	44.9	114.8	20.7
	33	537.1	374.9	11.4	3.0	166.8	44.5	12.6	3.4	184.1	49.1	162.2	30.2
水稻 土	34	476.0	359.1	11.8	3.3	113.1	31.5	20.3	5.7	231.9	59.6	116.9	24.6
	35	311.4	209.7	4.2	2.0	93.1	44.4	17.6	8.4	94.8	45.2	101.7	32.7
	36	377.7	275.2	9.3	3.4	104.5	38.0	27.7	10.0	133.7	48.6	102.5	27.1

• 1~7号土各形态磷含量见参考文献<sup>[3]</sup>

好, 铝磷次之, 钙磷不显著。玄武岩水稻土, 三种形态磷与参比项都有很好的相关性。三角洲沉积水稻土20个样本合起来统计时, 铝磷与A值、百分产量的相关性达显著水准, 钙磷与百分产量的相关性也达显著水准, 铁磷与各参比项的相关不显著。但把pH 6.5以下的酸性土样本与pH 6.5以上的中性、弱碱性土样本分别进行统计时, 则前者的铝磷与参比项的相关性最好, 铁磷次之, 钙磷不显著; 后者则只有铝磷与A值及吸磷量的相关性达显著或极显著水准, 铁磷和钙磷与参比项的相关性不显著。

表4 磷素形态与A值、吸磷量及百分产量的相关性

参比项	花岗岩水稻土 (n = 8)			玄武岩水稻土 (n = 8)			三角洲沉积酸性 水稻土 (n = 10)			三角洲沉积中性、 弱碱性水稻土 (n = 10)		
	Al-P	Fe-P	Ca-P	Al-P	Fe-P	Ca-P	Al-P	Fe-P	Ca-P	Al-P	Fe-P	Ca-P
A值	0.801*	0.991**	0.512	0.945**	0.934**	0.913**	0.810**	0.617	0.035	0.863**	0.303	0.048
吸磷量	0.675	0.930**	0.699	0.970**	0.837**	0.858**	0.678*	0.634*	0.308	0.666*	-0.353	0.175
百分产量	0.793*	0.981**	0.579	0.770*	0.796*	0.832*	0.745*	0.502	0.252	0.528	-0.127	0.294

\* 为达到P0.05显著水准

\*\* 为达到P0.01显著水准

$$\text{百分产量} = \frac{\text{NK处理稻谷产量}}{\text{NPK处理稻谷产量}} \times 100$$

### (三) 土壤有效磷测定值与磷素形态的相关性

土壤有效磷测定值及其与磷素形态的相关性分别列于表5、6。

由表6可见, Olsen法、Al-Abbas法的测定值与三角洲沉积酸性水稻土及花岗岩、玄武岩水稻土的铝磷、铁磷呈显著或极显著相关, 说明这两种方法能按比例提取这些土壤中的铝磷和铁磷, 此外, 这两种方法测定值与玄武岩水稻土的钙磷也有密切相关。0.1N HCl法测定值与玄武岩水稻土的铝磷、三角洲沉积酸性水稻土的钙磷呈显著或极显著相关。Bray 2法测定值与花岗岩水稻土的铝磷, Mehlich法测定值与玄武岩水稻土的铝磷的相关性也达显著水准。对三角洲沉积中性、弱碱性水稻土, 除Mehlich法测定值与铁磷呈显著相关外, 其它方法测定值与铝磷呈显著或极显著相关。

### (四) 土壤有效磷测定值与A值及水稻吸磷量、产量的相关性

试验处理前土壤有效磷测定值与A值及连续四造水稻无磷处理吸磷量、稻谷产量及百分产量等参比项的相关性列于表7。从表中可以看到花岗岩、玄武岩水稻土, 以Olsen、Al-Abbas两方法的测定值与参比项的相关性最好, 表明测定这些土壤有效磷时宜选用Olsen法或Al-Abbas法。对三角洲沉积酸性水稻土, 以Olsen法与参比项的相关性最好, Al-Abbas法只与A值的相关性达显著水准, 与水稻各造吸磷量、产量的相关性不显著, Bray 2法与后三造的吸磷量的相关性达显著性水准, 但与A值与其它参比项相关性不显著, 看来这类土有效磷的测定以选用Olsen法最佳。对三角洲沉积中性、弱碱性水稻土, 除Mehlich法外, 其它方法测定值与参比项的相关性都达到显著或极显著水准。以上结果表明, 对广东三种主要类型水稻土有效磷的测定都可选用Olsen法。

表5

土壤有效磷测定值 (ppmP)

土壤	方法	Bray 1	Bray 2	Olsen	Al-Abbas	0.1N HCl	Mehlich	A 值
花岗岩水稻土*	8	40.8	44.8	58.0	315.9	56.0	36.3	376.7
	9	2.6	4.0	2.2	17.3	0.9	3.2	1.2
	10	0.9	1.4	2.1	28.2	0.7	2.4	1.8
	11	34.1	46.9	31.1	264.3	38.0	28.3	22.2
	12	1.4	1.2	6.5	138.9	1.0	2.9	10.0
	13	2.8	4.0	16.3	207.5	7.4	7.2	21.4
	14	5.0	4.5	24.8	308.4	10.8	6.9	27.0
	15	2.4	3.0	19.1	277.8	3.8	8.0	22.9
	16	1.3	0.7	4.5	130.6	0.8	2.2	4.5
	17	0.6	4.8	9.8	24.6	0.8	0	6.2
	18	6.4	10.3	25.4	73.5	27.7	0.3	15.1
	19	6.1	20.0	39.2	129.4	54.8	11.8	17.5
	20	1.4	7.6	9.3	37.8	33.5	4.8	7.1
	21	0.4	3.5	8.5	42.6	16.4	3.6	8.1
	22	0.4	1.0	9.4	41.9	15.3	0.3	10.1
珠江三角洲沉积水稻土	23	0.4	2.6	5.5	31.3	19.0	1.3	5.6
	24	0.4	1.2	8.1	43.0	7.1	0.2	5.9
	25	0.1	0.9	6.8	40.6	7.1	0.3	5.7
	26	0.2	2.9	5.4	47.2	1.8	2.3	6.0
	27	0.3	1.5	4.7	37.4	2.8	3.1	5.9
	28	0.7	3.5	7.6	42.7	2.5	4.8	7.6
	29	3.9	4.7	6.5	32.5	3.0	3.9	8.8
	30	0.2	1.9	3.8	23.9	1.5	3.1	6.3
	31	0.4	2.6	4.7	26.6	2.7	3.1	3.8
	32	0.7	2.5	11.0	73.8	8.3	4.5	8.1
	33	0.9	3.5	8.5	81.3	2.3	3.9	12.4
	34	0.8	2.4	5.7	49.7	1.4	2.9	9.8
	35	0.5	1.8	3.0	37.1	2.4	3.2	4.6
	36	0.3	3.1	9.3	51.8	3.1	2.3	10.0

\* 1—7号土测定结果见参考文献<sup>[5]</sup>

### (五) 土壤有效磷的临界值

上述结果表明, Olsen法对三种母质发育水稻土测定值与历造水稻吸磷量、稻谷产量都有很好的相关性(表7)。现根据Cate和Nelson提出的确定养分临界值法, 将土壤原始样品Olsen法的测定值分别对水稻第一、四造百分产量求临界值如图1及图2所示。对第一造的临界值, 花岗岩、玄武岩水稻土为10ppmP, 对三角洲沉积水稻土为

表 7 有效磷测定值与 A 值及各造水稻吸磷量、产量的相关性

参比项	A 值	第一造				第二造				第三造				第四造			
		吸磷量	无磷处 理产量	百分产量	吸磷量	无磷处 理产量	百分产量										
花岗岩水稻土 (n=8)	Bray 1	0.556	0.455	-0.251	0.569	0.459	-0.026	0.302	0.389	0.366	0.255	0.472	0.416	0.582			
	Bray 2	0.285	0.216	-0.499	0.300	0.343	-0.064	0.215	0.349	0.303	0.073	0.360	0.355	0.512			
	Olsen	0.915**	0.818*	-0.024	0.892**	0.802*	0.459	0.702	0.761*	0.686	0.543	0.780*	0.691	0.624			
	Al-Abbas	0.951**	0.835**	-0.024	0.922**	0.816*	0.549	0.768*	0.784*	0.689	0.536	0.790*	0.703	0.583			
	0.1N HCl	0.621	0.677	0.266	0.665	0.649	0.169	0.485	0.590	0.593	0.635	0.632	0.542	0.751*			
	Mehllich	0.594	0.611	0.121	0.625	0.595	0.078	0.131	0.540	0.524	0.530	0.588	0.502	0.727*			
	Bray 1	0.400	0.575	0.290	0.353	0.478	0.233	0.342	0.430	0.334	0.417	0.556	0.289	0.406			
	Bray 2	0.374	0.556	0.256	0.325	0.455	0.199	0.312	0.408	0.308	0.391	0.532	0.256	0.354			
玄武岩水稻土 (n=8)	Olsen	0.938**	0.960**	0.811*	0.732*	0.930**	0.770*	0.812*	0.917**	0.860**	0.873**	0.956**	0.807*	0.839**			
	Al-Abbas	0.986**	0.909**	0.923**	0.806*	0.969**	0.947**	0.947**	0.930**	0.945**	0.944**	0.966**	0.963**	0.957**			
	0.1N HCl	0.555	0.711*	0.451	0.484	0.609	0.372	0.468	0.586	0.491	0.561	0.673	0.430	0.532			
	Mehllich	0.555	0.708*	0.415	0.446	0.628	0.372	0.474	0.580	0.485	0.555	0.692	0.426	0.527			
	Bray 1	0.269	-0.050	0.167	0.224	0.284	0.220	0.274	0.371	0.348	0.380	0.259	0.241	0.207			
	Bray 2	0.486	0.294	0.443	0.480	0.634*	0.593	0.599	0.635*	0.577	0.534	0.638*	0.702*	0.655*			
	Olsen	0.652*	0.810**	0.729*	0.743*	0.830**	0.684*	0.610	0.738*	0.750*	0.766*	0.838*	0.693*	0.726*			
	Al-Abbas	0.702*	0.541	0.273	0.401	0.455	0.350	0.233	0.416	0.436	0.523	0.553	0.428	0.607			
三酸角砾水稻土 (n=10)	0.1N HCl	0.063	0.413	0.372	0.517	0.356	0.208	0.162	0.348	0.379	0.482	0.259	0.005	0.171			
	Mehllich	0.182	0.442	0.014	0.374	0.436	0.344	0.315	0.619	0.489	0.652*	0.378	0.199	0.286			
	Bray 1	0.929**	0.760*	0.736*	0.417	0.492	0.150	-0.030	0.826**	0.777**	0.856**	0.864**	0.591	0.819**			
	Bray 2	0.855**	0.525	0.814**	0.417	0.307	-0.029	-0.305	0.816**	0.712*	0.746*	0.882**	0.702*	0.686*			
	Olsen	0.949**	0.560	0.789**	0.469	0.349	0.017	-0.222	0.816**	0.828**	0.853**	0.820**	0.742*	0.681*			
	Al-Abbas	0.914**	0.403	0.711*	0.305	0.396	0.174	-0.234	0.777**	0.839**	0.767**	0.680*	0.712*	0.549			
	0.1N HCl	0.793**	0.462	0.863**	0.531	0.606	0.274	0.005	0.869**	0.791**	0.701*	0.788**	0.784*	0.657*			
	Mehllich	0.580	0.052	0.558	0.068	0.234	0.107	-0.465	0.590	0.518	0.385	0.535	0.462	0.310			

\* 达到P0.05显著水准    \*\* 为达到P0.01显著水准

5ppmP, 表示测定值高于这些水平时, 当造水稻施磷无明显增产效果。对第四造的临界值花岗岩、玄武岩水稻土为12.5ppmP, 三角洲沉积水稻土为7.5ppmP, 表示测定值高于这些水平时, 即使连续二年四造不施磷对水稻产量也无多大影响。

表 6 土壤有效磷与磷素形态的相关性

土壤 测定 方法	花岗岩水稻土 (n = 8)			玄武岩水稻土 (n = 8)			三角洲沉积酸性水稻土 (n = 10)			三角洲沉积中性、 弱碱性水稻土 (n = 10)		
	Al-P	Fe-P	Ca-P	Al-P	Fe-P	Ca-P	Al-P	Fe-P	Ca-P	Al-P	Fe-P	Ca-P
Bray 1	0.705	0.561	-0.132	0.603	0.187	0.188	0.355	-0.086	-0.026	0.942	0.107	0.178
Bray 2	0.745	0.332	-0.417	0.575	0.149	0.158	0.464	0.050	0.153	0.915	0.362	-0.144
Olsen	0.847	0.912	0.268	0.977	0.792	0.771	0.796	0.740	0.613	0.926	0.366	0.050
Al-Abbas	0.890	0.954	0.285	0.915	0.970	0.891	0.693	0.932	0.416	0.793	0.589	-0.058
0.1N HCl	0.508	0.585	0.248	0.743	0.343	0.370	0.450	0.608	0.941	0.698	0.519	-0.249
Mehlich	0.563	0.562	0.106	0.707	0.332	0.315	0.501	0.475	0.235	0.525	0.755	-0.518

• 为达到P0.05显著水准, .. 为达到P0.01显著水准。

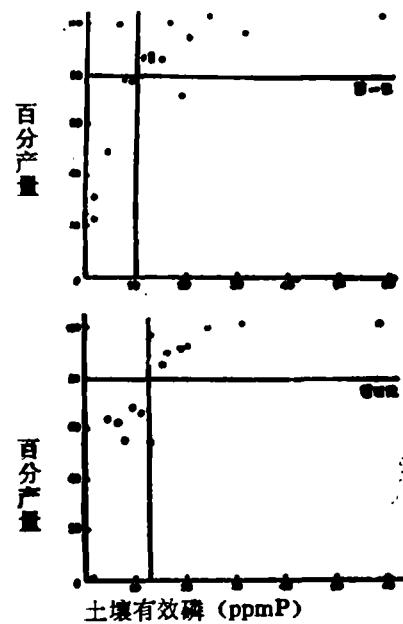


图 1 花岗岩土、玄武岩水稻土Olsen法提取的有效磷与产量的相关性。

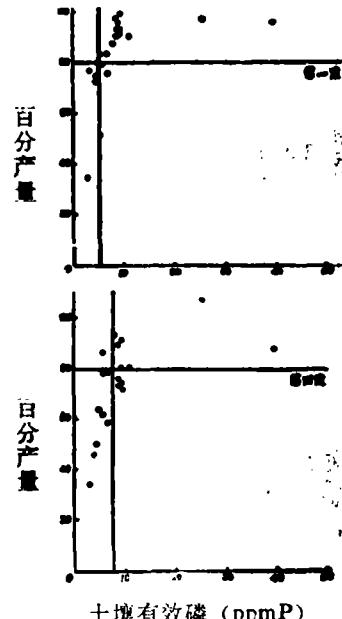


图 2 珠江三角洲水稻土Olsen法提取的有效磷与产量的关系。

## 讨 论 和 结 论

### (一) 土壤磷素形态与成土母质、pH的关系

根据对花岗岩水稻土和玄武岩水稻土磷素形态分析测定的结果, 土壤各种形态磷酸

盐的相对含量似与成土母质关系不大, 两种类型水稻土无机磷均以闭蓄态磷为主, 铁磷次之, 铝磷和钙磷的含量较少。土壤磷素这种分布模式与华南地区高温多雨的成土条件有关。在土壤形成过程中, 盐基物质不断遭受到淋溶, pH下降, 活性铁铝增加。在pH比较低的情况下, 溶解度比较大的磷酸钙向溶解度较小的磷酸铁转化<sup>[12]</sup>, 因而铁磷含量增高。另外由于铁、铝氧化物的溶解——沉淀脱水作用而将一部分磷酸铁转化为闭蓄态磷酸盐。pH越低, 活性铁铝含量越高, 则生成闭蓄态磷就越多, 如花岗岩、玄武岩发育的强酸性赤红壤、砖红壤, 闭蓄态磷占无机磷总量达70%以上<sup>[2][4][13]</sup>。当旱地改作水田时, 一部分闭蓄态磷遭还原水解而转变为非闭蓄态磷酸铁<sup>[2][4]</sup>, 因而本试验供试土壤的测定结果与同一母质来源的旱地比较, 闭蓄态磷含量较低, 磷酸铁的含量增高。

珠江三角洲沉积水稻土无机磷也以闭蓄态磷为主; 铁磷和钙磷的含量则与pH值有关; 前者与pH值呈极显著负相关 ( $r = -0.906^{**}$ ), 后者与pH值呈极显著正相关 ( $r = 0.816^{**}$ )。由于西、北江水系土壤的pH值一般较东江水系的土壤高, 因而铁磷的相对含量较后一水系的土壤低, 钙磷的相对含量则反之, 这与梁孝衍、杨园英等人的研究结果一致<sup>[8][11]</sup>。铝磷的含量与前两种类型水稻土的含量接近。

## (二) 土壤有效磷浸提剂的选择问题

土壤有效磷浸提剂的选择是根据土壤磷素形态, 有效磷源以及浸提剂本身的提取对象而定<sup>[6][14][15]</sup>。想要了解某种土壤选用何种浸提剂合适, 则需首先了解该土壤磷素形态及其对有效磷的贡献大小。根据本试验的测定结果, 花岗岩和玄武岩水稻土以及三角洲沉积酸性水稻土的非闭蓄态磷均以铁磷含量最高, 铁磷与A值、水稻吸磷量的相关性也很好, 因而可以推断水稻主要吸收利用这种形态磷, 其他作者<sup>[2][6][10]</sup>也认为铁磷是水稻主要磷源。铝磷与A值、吸磷量的相关性很好, 表明这种磷素形态也是水稻主要磷源。可以设想, 凡是能够按比例提取土壤中铁磷、铝磷的浸提剂都有可能适合这些水稻土使用。根据文献报道<sup>[14][15]</sup>和本试验结果, Olsen法和Al-Abbas法对铁磷、铝磷都有很强的提取能力, 这两种方法有可能适合使用。将各方法的测定值与A值及两年四造水稻吸磷量、产量进行相关分析的结果, 以Olsen法与参比项相关性最好, Al-Abbas法次之, 表明上述推断是正确的。对三角洲沉积中性、弱碱性水稻土, 铁磷和钙磷与A值、水稻吸磷量的相关性都没有达到显著水准, 只有铝磷与A值及水稻吸磷量有密切相关, 因而可以推断铝磷为水稻主要磷源。如上所述, Olsen法对铝磷有很好提取能力, 并且该法测定值与A值及各造水稻吸磷量、产量也有很好的相关性, 因而也适合这类土壤使用。

## (三) Olsen法诊断指标的探讨

Olsen法对不同土壤、不同作物的诊断指标文献上已有不少记载<sup>[12]</sup>, 但多指当季作物对磷的反应而言, 对连续种植数造后的影响如何则尚未见报道。本试验在盆栽条件下, 探讨试验处理前土壤样本Olsen法测定值与当造及第四造百分产量的关系, 结果是对当造水稻的临界值花岗岩和玄武岩水稻土为10 ppmP, 三角洲沉积水稻土为5 ppmP, 对第四造的临界值前者为12.5 ppmP, 后者为7.5 ppmP。

## 参考文献

[1] 中国科学院南京土壤研究所：《土壤理化分析》，上海科技出版社，1978年。

[2] 中国科学院南京土壤研究所：《中国土壤》，376—378，科学出版社，1978年。

[3] 史陶钧等：酸性水稻土有效磷测定方法的研究，《土壤学报》，(4) 1979, 409—413。

[4] 何电源：华南热带土壤养分含量状况及肥力评价，《土壤学报》，(2) 1983, 154—166。

[5] 林忠最も：水稻土和菜园土有效磷化学测定法及其与磷素形态关系的研究，《华南农学院学报》，4 (1) 1983, 1—10。

[6] 周鸣铮：土壤速效磷化学提取法探讨(一)，《土壤通报》(4) 1980, 47—48。

[7] 南京农学院主编：《土壤农化分析》，农业出版社，1980年。

[8] 梁孝衍等：珠江三角洲耕积土的磷素特性与施磷效果，《广东农业科学》，(8) 1982, 5~8。

[9] 顾益初、蒋柏蕃：农业化学中磷素分析方法概述，《土壤》，(8) 1980, 95~101。

[10] 蒋柏蕃：南方水稻土中的磷酸铁对水稻磷素营养的意义，《土壤学报》，(4) 1963, 361—369。

[11] 杨园英等：珠江三角洲沙围田地区水稻土肥力研究初报，《土壤养分、植物营养与合理施肥》，(孙羲主编)，111~116，农业出版社，1983年。

[12] 鲁如坤：土壤磷素，《土壤通报》，(1) 1980, 43—47；(2) 1980, 47—49。

[13] 谭译：广东省几种主要土壤磷素状况及其有效性的初步研究，《土壤肥料》(1) 1984, 23—27。

[14] 'Al-Abbas等(周鸣铮译)：以土壤磷素分级为根据的速效磷测定方法，《土壤译丛》，(2) 1965, 62—64。

[15] Tyner, E.H.等(蒋柏蕃译)：水稻土速效磷测定指标的评价，《土壤译丛》，(3~4) 1966, 102~104。

[16] A. B. 索科洛夫主编(谢建昌等译)：《土壤的农业化学研究法》，59~94，科学出版社，1957年。

[17] Chang, S.C. and Jackson, M.L., 1957, Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci., 84, 133—144.

[18] Bray, R.H. and Kurtz, L.T., 1945, Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci., 59, 39—45.

## TO THE AVAILABLE PHOSPHORUS AND POTASSIUM IN THE MAIN PADDY SOILS OF GUANGDONG PROVINCE

### I. The Forms of Phosphorus of Paddy Soils and Testing of Available Phosphorus

Xie Lichang Yu Luzhuang Li Xiubin Lin Zhongyan Wu Jieying  
(Department of Soil and Agrochemistry)

#### ABSTRACT

The forms of phosphorus in paddy soils developed from granite basalt and sediments of Pearl River Delta, the sources of available phosphorus in such soils and the testing methods of available phosphorus were studied. In the paddy soils either from granite or basalt, O-P was the main inorganic form of phosphorus, Fe-P the next, and Fe-P and Al-P were the sources of available phosphorus. The main inorganic form of phosphorus in the paddy soils from the delta sediments was O-P. Nevertheless, the relative amount of Fe-P and Ca-P were correlated with soil pH. In the acid paddy soil, sediment, the available phosphorus sources were Fe-P and Al-P. While Al-P was the source when the paddy soil was neutral or basic. The available phosphorus of the three kinds of soils was tested by six chemical methods and the results were compared with "A" values, the amount of absorbed phosphorus and the yields of four crops of rice. It was concluded that the Olsen's method was the best one, The critical value of the method suitable to the soils investigated was presented.