

# 我国南方几种水稻土的磷肥施用问题\*

鲁如坤 蒋柏藩

(中国科学院土壤研究所)

大跃进以来,我国化学磷肥的生产有了极大的增长,在农业生产上就提出了如何有效地施用磷肥的问题。我国南方有着大面积的水稻土,因此,在这些土壤上有效施用磷肥问题,显然具有重大的实际意义。对于水稻土磷肥的施用问题,国外某些学者<sup>[1,2]</sup>认为,在水稻土中由于磷酸主要和亚铁结合,而这种磷盐在作物根系分泌物的酸性范围内 (pH 4 左右) 溶度甚大,因而磷肥在水稻土上往往不易表现良好效果;而国内各地的试验结果,结论也不一致。因此,为了使磷肥在农业生产上发挥更大的作用,我们进行了一些水稻土磷肥有效使用的工作,本文是这一工作的一部分。试验是在室内和田间同时进行的。

## 一、我国南方几种水稻土的有效性磷素水平及磷肥增产效果

为了研究磷肥肥效,首先应该对土壤本身磷素的基本状况加以了解。我们的试验选用了江苏、江西、广东三省的 6 种水稻土,它们的基本农化特性列于表 1。

表 1 南方几种水稻土的基本农化特性

土 壤	地 点	pH	有机质%	全 N%	全 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %
黄泥沙土(花岗岩发育的紅壤性水稻土)	广东广州	4.8	1.14	0.05	0.09
泥肉田(珠江三角洲冲积性水稻土)	广东南海	7.8	4.1	0.2	0.18
黄泥田(第四紀紅色粘土上发育的紅壤性水稻土)	江西进賢	5.6	2.6	0.16	0.11
火格田(同上)	江西进賢	6.2	1.9	0.11	0.15
黑馬肝土(黄土性母质发育的水稻土)	江苏南京	6.5	2.2	0.14	0.19
黄馬肝土(同上)	江苏南京	6.7	1.12	0.08	0.15

土壤磷素供应状况的基本指标之一,是土壤本身有效性磷的水平,但是应用通常的化学速测方法所得结果往往不能真正反映土壤的磷素水平,因此,我们应用了放射性同位素的方法。在应用放射性 P<sup>32</sup> 进行土壤的有效性磷测定方面,有三个基本方法,即 Fried 法<sup>[3]</sup>, Соколов 法<sup>[4]</sup> 和 Larson 法<sup>[5]</sup>。根据上述方法各自的特点,我们选用了前二者,即应用下列二公式:

(1)  $A = B \frac{1 - Y^{**}}{Y}$ , (2)  $x = \frac{P \cdot 100^{**}}{K}$  来测定土壤有效性磷的水平。

在进行工作时,每盆的 P<sup>32</sup> 用量为 150 微居里,土重 5.5 公斤,不过在用第一种方法时(测“A”值)加 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 相当 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.63 克/盆作载体,而用 Соколов 法时,根据原作者的意见,不另加载体,而随放射性磷带入载体量不超过 1 毫克 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/盆。

\* 参加工作的还有时正元、顾益初等同志。

\*\* 式(1)中 A——土壤有效性磷量, B——放射性肥料用量, Y——植物体内 P<sup>32</sup> 的比移。

式(2)中 x——土壤有效性磷量, P——植物吸磷总量, K——放射肥料利用率。

除去上述放射性同位素法以外,我们还同时采用了幼苗法,以資参照。茲将所得結果列于表 2。

表 2 我國南方几种水稻土中的有效性磷水平

土 壤	地 点	有效性磷量 (毫克 $P_2O_5$ /盆)		幼 苗 法 (毫克/100 克土)
		"A" 值	"x" 值	
黄泥沙土(花崗岩发育的紅壤性水稻土)	广东广州石牌	249	203	3.27
泥肉田(珠江三角洲冲积性水稻土)	广东南海	570	564	3.39
黄泥田(第四紀紅色粘土发育的紅壤性水稻土)	江西进賢	651	651	3.77
火格田(同上)	江西进賢	1024	1315	—
黑馬肝土(黃土性母质发育的水稻土)	江苏南京	1397	1558	—
黃馬肝土(同上)	江苏南京	2182	2845	—

从表 2 中可以看出,两种不同的同位素方法所得結果非常一致。这些結果表明,供試的几种水稻土,在有效性磷水平方面有很大的不同,其中以广东花崗岩发育的紅壤性水稻土有效性磷水平最低,江西第四紀紅色粘土上发育的紅壤性水稻土次之,南京黃土母质上发育的水稻土有效性磷素水平最高。不同水稻土有效性磷量相差达 10 倍之多。这种在磷素供应上的巨大差异,反映在磷肥效果上也应当有所不同。为此,我們又在上述地区进行了盆栽和大田試驗,所得結果列于表 3。

表 3 磷肥在我國南方几种水稻土上的增產效果  
(盆栽和大田試驗)

土 壤	盆 栽 試 驗							田 間 試 驗		
	处理	土壤磷吸 收量 (毫克/盆)	吸磷总量 (毫克/盆)	籽实含 $P_2O_5$ %	产量(克/盆)		籽实产 量相对 %	处 理	产 量 (斤/亩)	%
					籽实	茎稈				
黄泥沙土 (花崗岩发育的 紅壤性水稻土)	O	69.9	71.2	0.66	5.61	18.7	100	空 白	224	100
	NK	80.6	81.8	0.41	8.98	32.2	160	过磷酸鈣*	538	240
	NPK	131.2	267.7	0.75	20.6	37.4	367	鈣鎂磷肥*	387	170
泥肉田 (珠江三角洲冲 积性水稻土)	O	133.1	134.0	0.70	10.4	26.3	100	空 白	375	100
	NK	173.3	174.0	0.58	14.7	40.3	141	过磷酸鈣**	472	128
	NPK	214.4	334.6	0.79	27.7	44.5	266	骨 粉**	435	116
黄泥田 (第四紀紅色粘 土发育的紅壤 性水稻土)	O	110.5	111.2	0.77	6.25	19.6	100	空 白	175.1	100
	NK	120.0	120.7	0.55	9.64	32.0	154	撒施 $P_2O_5$ 2斤/亩	327.7	128
	NPK	124.7	220.0	0.71	17.7	37.9	283	撒施 $P_2O_5$ 8斤/亩	430.0	116
黑馬肝土 (黃土性母质发 育的水稻土)	O	238.0	238.4	0.83	10.1	45.2	100	—	—	—
	NK	456.3	456.9	0.85	22.5	62.4	223	—	—	—
	NPK	399.0	453.0	0.96	21.4	56.5	212	—	—	—

\* 过磷酸鈣和鈣鎂磷肥用量为 6 斤  $P_2O_5$ /亩,以猪粪为基肥,用量为 20 担/亩。

\*\* 骨粉、过磷酸鈣用量为 30 斤/亩。

从表 3 中可以看出,在不同的土壤有效性磷素水平时,其磷肥的增产效果也有显著不同。例如,在有效性磷最低的花崗岩发育的水稻土上,磷肥增产分别为 240% (大田試驗)和 222% (盆栽試驗);在中等土壤有效性磷素水平时(如广州冲积性水稻土,泥肉田),磷肥增产幅度分别为 128% (大田試驗,以对照为 100%)和 189% (盆栽);而对于有效性磷素高的南京黃土母质发育的水稻土(黑馬肝土),則不論盆栽試驗和大田試驗,磷肥均无增

产效果。例如江苏农业科学分院的大田試驗結果表明，在馬肝土上，对照水稻产量为 640 斤/亩，而施磷处理的只有 620 斤/亩。

前面已經提到应用通常的化学速測法所得的結果，往往不能很好的和磷肥增产效果相符合，因此，在实际工作上，迫切需要能够有一个可以真正反映土壤磷素供应水平的指标。应用放射性同位素稀释原理来測定土壤中有效性磷的方法，为我們提供了一个新的途径。但是，在这方面国外也存在着极其不一致的意見。为此，我們也希望能够研究一下同位素法在我国水稻土上測定有效性磷的适用性。我們应用統計方法<sup>[6]</sup>計算了磷肥增产幅度和“*A*”值、“*x*”值的相关性。从表 4、图 1 可以明显看出它們之間的良好相关。例如，对于“*A*”值來說，相关系数  $\gamma = -98.3\%$ ，对于“*x*”值來說  $\gamma = -99.3\%$ ，可知应用放射性同位素法，不論是 Fried 法和 Соколов 法均和磷肥增产幅度有着极高的負相关性，而且不同方法所得的数值也极为相近。由此可以认为，这两个方法可以作为水稻土有效性磷素水平的指标。

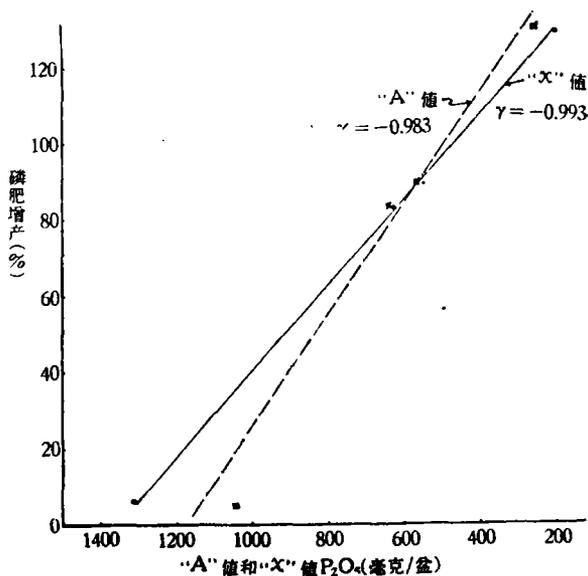


图 1 土壤速效性磷素水平 (“*A*”值和“*x*”值) 和磷肥增产幅度的关系

表 4 不同水稻土磷肥的增产效果和土壤速效性磷含量的关系

土 壤	籽实产量(克/盆)		磷肥增产产量 (克/盆)	增 产 %	增产相对 %	毫克 $P_2O_5$ /盆	
	NK	NPK				“ <i>x</i> ” 值	“ <i>A</i> ” 值
黄泥沙土 (花崗岩发育的紅壤性水稻土)	8.98	20.6	11.6	130	100	203	249
泥肉田 (珠江三角洲冲积性水稻土)	14.7	27.7	13.0	89	69	567	570
黄泥田 (第四紀紅色粘土发育的紅壤性水稻土)	9.6	17.7	8.1	84	65	651	651
火格田 (同上)	12.4	13.2	0.8	6	5	1315	1024
黑馬肝土 (黄土性母质发育的水稻土)	22.5	21.4	—	—	—	1558	1397
黄馬肝土 (同上)	18.7	14.6	—	—	—	2845	2182

## 二、不同水稻土上作物对于土壤磷和肥料磷的利用特点及磷肥利用率

我們知道，在农业土壤上，作物的养分主要有两大来源，即 (1) 来自土壤本身的貯备，(2) 来自人工所施的肥料。但是，过去我們所应用的普通的生物和化学方法，无法把这两个来源区分开来，因此，合理施肥的基本概念长期以来是指最好的發揮肥料效果的施肥方法。显然这个概念是不全面的，例如当施肥时，虽然能良好地發揮肥料的作用，但如果这

时却同时减少了土壤养分的吸收,那么这个方法显然并未达到合理施肥的要求。近些年来,由于同位素方法的应用,使我们有可能把上述两大来源的养分加以区分,因此,对合理施肥就有了新的理解,那就是所谓合理施肥,应该是一方面能充分发挥所施肥料的作用;另一方面,也要同时能充分动员土壤本身的肥力。即要找出同时能发挥肥料和土壤在养分供应上的效用的施肥方法。为了得出施用磷肥对作物利用土壤本身的磷素的影响,我们应用同位素  $P^{32}$  进行了下述工作。

在表 5 中列出了水稻生长早期和末期对土壤磷利用的结果,图 2 及图 3 中列出了不同生长时期的结果。

表 5 磷肥施用对作物吸收土壤磷的影响

土 壤	处 理	产 量		吸 磷 总 量 (毫克/盆)	土 壤 磷 吸 收 量 (毫克/盆)	肥 料 磷 吸 收 量 (毫克/盆)
		分 蘖	初 期	成 熟 期		
黄泥沙土 (花岗岩发育的紅壤性 水稻土)	O	0.79		1.56	1.5	0.0667
	NK	0.82		1.07	1.03	0.0376
	NPK	1.76		11.2	4.16	7.04
泥肉田 (珠江三角洲冲积性水 稻土)	O	0.65		0.44	0.42	0.0175
	NK	0.65		0.28	0.27	0.00715
	NPK	1.43		5.88	2.89	2.99
黄泥田 (第四紀紅色粘土上发 育的紅壤性水稻土)	O	0.86		1.54	1.53	0.0118
	NK	0.98		1.51	1.50	0.0111
	NPK	1.97		9.67	6.15	3.52
黑馬肝土 (黃土性母质发育的水 稻土)	O	1.85		16.4	16.36	0.0363
	NK	2.31		19.6	19.56	0.0392
	NPK	2.28		19.4	16.2	3.23
		茎 稈	籽 实			
黄泥沙土 (花岗岩发育的紅壤性 水稻土)	O	18.7	5.61	71.2	69.9	1.29
	NK	32.2	8.98	81.8	79.6	1.24
	NPK	37.4	20.6	267.7	131.2	136.5
黑馬肝土 (黃土性母质发育的水 稻土)	O	45.2	10.1	238.4	238.0	0.4
	NK	62.4	22.5	456.7	456.1	0.6
	NPK	56.5	21.4	453.0	399.0	54.0

从表中和图中我們可以看到,施用磷肥对于水稻利用土壤中的磷素,在不同的土壤上有着极为不同的影响。以广州花岗岩发育的紅壤性水稻土为例(图 2),在不施磷肥的情况下,这时磷素唯一的来源是土壤本身,“土 P. NK”綫代表不施磷肥时水稻所吸收的土壤中的磷量(图 2 中 I);当我們在 NK 基础上加施磷肥时,可以看出水稻在整个生长期中所吸收的磷的总量大大提高了(图 2 中“全 P. NPK”曲线)。过去认为这种因增施磷肥而提高的作物吸磷量,全部是由肥料供給的,但是在图 2 中,我們可以看到实际并不是如此,而是这一部分因施磷肥所增加的作物吸磷量,一部分来自所施肥料(图 2 中 III),而另一部分来自土壤(图 2 中 II)。这样就揭示了一个重要的现象,那就是在这种土壤上,施用磷肥不单单是为作物补給了磷源,而且也动员了土壤中原来不能为作物所利用的磷素。也就是说,在这类土壤上,施用磷肥可以促进作物对土壤本身磷素貯备的利用。但是,我們再

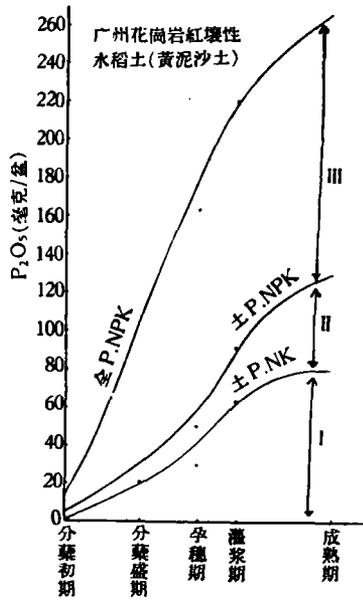


图 2 磷肥施用对水稻利用土壤本身磷素的影响

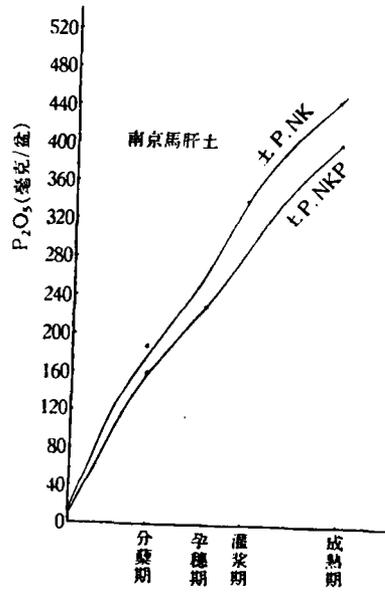


图 3 磷肥施用对水稻利用土壤本身磷素的影响

看一下馬肝土(图 3), 則情况恰恰相反, 施用磷肥沒有促进作物对土壤磷的利用。在施磷和不施磷的情况下, 作物所吸收的总磷量几乎没有什么增加, 而是吸收了所施的磷肥, 却相应的减少了对土壤磷的利用。这一现象, 也就说明了为什么在磷素供应丰富的馬肝土上, 磷肥效果不明显的内在原因。

由上可知, 磷肥施用改变了作物对土壤磷的利用。这一现象, 证明过去研究肥料利用率所根据的基本概念是不正确的, 那就是认为作物因施肥所增加的养分吸收量全部来自肥料。由于所根据的基本概念不正确, 因此往往会得到不合理的结果。例如, 肥料利用率超过 100%, 或者得到负值。为了确实知道在水稻土上磷肥利用率的数据, 我们根据放射性磷肥的利用程度, 计算了磷肥利用率, 同时也应用了普通差异法进行了计算, 结果列于表 6。

表 6 我國南方水稻土的磷肥利用率

土 壤	地 点	利 用 率 (%)	
		差 异 法	同 位 素 法
黄泥沙土(花岗岩发育的紅壤性水稻土)	广东 广州	26	21.8
泥肉田(珠江三角洲冲积性水稻土)	广 东 南 海	26	19.2
黄泥田(第四紀紅色粘土发育的紅壤性水稻土)	江 西 进 賢	16	15.2
火格田(第四紀紅色粘土发育的紅壤性水稻土)	江 西 进 賢	15.5	9.3
黑馬肝土(黄土性母质发育的水稻土)	江 苏 南 京	-0.6	8.6
黄馬肝土(黄土性母质发育的水稻土)	江 苏 南 京	-4.5	8.3

自放射性同位素方法用在土壤肥料工作中以来, 国外某些学者<sup>[7]</sup>, 根据施用磷肥降低了土壤磷的利用这一现象, 认为实际的磷肥利用率比用差异法所得结果要高, 甚至由此推论说过去对土壤的磷肥固定作用估计太高了, 需加改变。但是, 根据上述结果可知, 这一结论是不全面的。从表 6 中可以明显看出, 用普通差异法所得磷肥利用率的结果和用同

位素法所得的结果相比,显然有三种情况,即:(1)当施用磷肥减少了作物对土壤磷的利用时,差异法所得结果比真正的利用率(同位素法)要低(如南京马肝土), (2)当施用磷肥同时增加了作物对土壤磷的利用时,差异法结果就偏高(如广州花岗岩发育的水稻土), (3)当施用磷肥对作物利用土壤磷无影响时,这时差异法和同位素法结果应该一致(如江西第四纪红色粘土上发育的水稻土)。因此,施用磷肥减少对土壤磷的利用只是三种情况中的一种,同时根据表中磷肥利用率的结果,在本试验的条件下磷肥利用率仍在 10—20%左右。因此不能据此忽视磷酸固定在农业生产上的不良作用。

### 三、氮素供应和磷肥的有效使用

在我国南方的水稻土上,氮肥具有非常明显的效果(参看表 3),因此,氮素供应状况对磷肥的效果就可能产生重大影响。为此,我们在广东南海进行了这方面的试验\*, 试验是在珠江三角洲肥力较低的冲积性水稻土上进行的。结果列于表 7。

表 7 氮肥施用对磷肥效果的影响

处 理	施肥量(斤/亩)	产量(斤/亩)	增产(%)
对 照 (无肥)	—	243	100
P(K)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 9 K <sub>2</sub> O 10	244	100
N	N 10	384	155
NP(K)	N 10 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 9 K <sub>2</sub> O 10	420	175

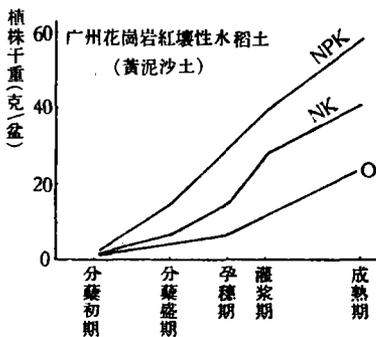


图 4 氮、磷的增产效果

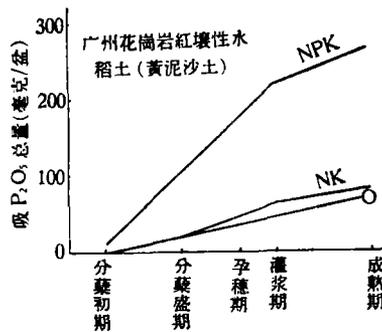


图 5 不同施肥处理时,对作物吸磷总量的影响

表 7 结果说明,在这种缺氮的水稻土上单施磷肥,甚至不表现效果。但这并不是由于在这种土壤上磷素不缺乏,而主要的是受氮素供应条件的限制。从结果中可以看出,在氮肥基础上磷肥才可表现出明显的增产效果(由 384 斤/亩增加到 420 斤/亩)。因此,有些试验由于未注意到氮素水平的限制,往往据此得出磷肥无效的结论显然是不正确的。

另一方面,我们也注意到另外一种情况,即磷素供应对氮肥肥效的影响。为此,我们把表 3 中的部分结果绘成图 4 和图 5。从图 4 中,我们可以看出在黄泥沙土上单独施用氮肥(NK)虽然导致了增产,但是这并没有导致作物吸磷总量的相应增加(参看图 5),这显

\* 田间试验是由肖克谦同志负责进行的。

然說明,在这种情况下,氮肥的增产效果受到了磷素供应不足的严重限制,这一情况必然导致两种不良后果,即:(1)籽实品质变劣,含磷百分数大大降低(由 0.66% 下降到 0.41%) (参看表 3)。(2)单施氮肥而没有配合必要的磷肥时,在这种缺磷的土壤上还引起另一不良作用,那就是大部分的氮素用来增加了茎稈的产量,而由于氮、磷供应的不协调,籽实的增加幅度远远小于茎稈的增产幅度。比如在这种土壤上,单施氮肥茎稈由 18.7 克/盆增加至 32.2 克/盆,即增加了 13.5 克,而籽实的增产量只占总增产量的 20% 左右。但是,由表 3 結果中可以看到,当配合磷肥时,不仅仅使籽实含磷百分数回升到 0.75%,而且籽实在增产总量中所占的比重也提高了一倍(由 20% 增加到 40%)。

上述結果說明,在南方缺磷的水稻土上,不仅磷肥肥效和氮肥施用有密切关系,而且为了更好的發揮氮肥的增产效果,也必須和磷肥配合施用。

綜上所述,对于我国紅壤区的水稻土,作为一个施肥的基本原则來說,必須同时注意調节氮、磷的供应,注意氮肥磷肥的有效配合,从而充分發揮氮肥和磷肥的增产作用。

### 参 考 文 献

- [1] 三井进午(朱光琪譯): 水稻无机营养, 施肥和土壤改良。上海科学技术出版社, 1959。
- [2] Shapiro R. E.: Effect of flooding on availability of phosphorus and Nitrogen. *Soil Sci.*, 85:190--197, 1958.
- [3] Fried M. et al.: A concept concerning the measurement of available soil nutrients. *Soil. Sci.*, 73:263, 1952.
- [4] Соколов А. В.: Определение усвояемости фосфатов почвы и удобрений при помощи радиоактивного изотопа фосфора. В кн. Применение изотопов в технике, биологии и с-х. 328, 1955, Изд. АН СССР.
- [5] Larson S.: The use of  $P^{32}$  in studies on the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, 4:1—10, 1952.
- [6] 薛仲三: 普通統計学。商务印书館, 1950。
- [7] Соколов А. В.: Запасы в почвах усвояемых фосфатов и их накопление при внесении фосфорных удобрений. *Почвоведение* № 2, 1—9, 1958.

## EFFECT OF PHOSPHATIC FERTILIZER ON SOME ACID PADDY SOILS OF SOUTHERN CHINA

R. K. LU AND P. F. CHIANG

*(Institute of soil science, Academia Sinica)*

### (ABSTRACT)

Pot and field experiments on the response of rice crop to phosphatic fertilizer (labelled) were conducted on six typical acid paddy soils of Southern China. Good correlations, with mean value  $\gamma$  around  $-0.98$ ,  $-0.99$  have been found between the response of phosphatic fertilizer and the "A" values of Fried and Dean's method and the "x" values of Sokolov's method.

Nitrogen, however, used to be the limiting factor of rice production in these areas and, in these cases, the interaction of nitrogen and phosphorus always gave good response.

Under the given condition of pot experiments (0.63 gm. of  $P_2O_5$  per 5.5 kg. of air-dried soil), the uptake of phosphorus from applied fertilizer by crops varied from 10 to 20%.