

丘陵地区稻麦两熟田土壤有效磷与磷肥施用的关系*

蒋孟大 朱晓波

(江苏省丘陵地区镇江农科所)

本地区土壤普查结果表明,不同田块中有效养分的含量各不相同。其中土壤有效磷含量变化最大。因而施磷的效果也不一致。但是目前生产上使用磷肥,不少地区存在不同程度的盲目性。为了消除这种盲目性,促进农业生产实现高产、低耗、高收益的效果,几年来,我们在宁镇茅山丘陵区稻麦两熟田上进行了磷肥试验。试图为建立该地区主要作物(水稻、小麦)测土施磷模式,探求某些可以遵循的规律及有关参数。

一、材料与方法

(一)田间试验

试验在苏南丘陵地区下蜀系黄土母质发育的黄白土、马肝土上进行。试验前测定各田块的有效磷、速效钾、有机质等养分。根据分析结果,挑选出土壤有效磷水平在 20ppm (p)以下的一系列田块,设置磷肥试验。

肥效试验设两个处理:(1)不施磷;(2)亩施过磷酸钙50斤(P_2O_5 7斤)。

用量试验设六个处理:过磷酸钙用量为 0, 20, 40, 60, 80, 100斤/亩,作基肥一次施用。试验小区面积为 3—5 厘,重复 2—3 次。各小区施用纯氮 16斤/亩,其中 70%作中层基施,30%作保花肥。试验均不施用有机肥。水稻品种以中梗 607 为主,小麦品种大多是扬麦三号和本所选育的镇 7853。其他栽培技术均按当地习惯方法。

(二)盆栽试验

供试土壤取自田间试验中有效磷水平在 1.87—18.6ppm(P)之间的 13 个田块,土壤的基本性状见表 1。每个田块的土壤分装四盆,每盆装土 7 公斤,每公斤土施氮(N)0.1克。其中两盆不施磷,两盆施磷(P_2O_5)每公斤土 0.05 克。水稻品种为中梗 607。

二、结果与讨论

(一)苗期磷肥效果与土壤有效磷含量的关系

田间试验表明,在稻麦生育前期施用磷肥,有促进群体生长发育的效果,其促进的程度因土壤有效磷含量不同而异。经苗期测定,在同样面积的 22 块小麦田里,磷肥促进地上干物质积累的百分率(y)与土壤有效磷含量(x)呈对数负相关曲线: $y = 92.3 - 24.0 \ln x$, $R =$

* 本工作得到阮妙增同志的指导。土壤测试由本室徐萍萍等同志完成。田间试验承张建华同志、镇江市及各 县农业局土肥站协作进行,谨此感谢。

表1 供试土壤基本性状*

土 种	标本数 (个)	有 机 质 (%)	全 氮 (%)	全 磷 ($P_2O_5\%$)	速效钾 (K_2O , ppm)	有效磷 (P, ppm)	p H (H_2O)
黄白土	137	平均	1.32	0.083	0.028	66.7	4.2
		变幅	0.970—1.50	0.072—0.093	0.026—0.030	60—90	0.75—6.3
马肝土	112	平均	1.78	0.100	0.034	77.8	7.1
		变幅	1.59—1.97	0.090—0.105	0.032—0.037	60—110	2.7—18.7

* 有机质用重铬酸钾法, 全氮用重铬酸钾—硫酸消化法, 全磷用高氯酸—硫酸溶法, 速效钾用火焰光度法, 有效磷用Olsen法。

-0.644^{**}。但是, 这种明显的磷肥效果, 会随着生育进程的发展而降低, 甚至部分向相反方向转化。只有磷素含量很低的土壤, 磷素供应成为作物生长主要限制因素之一时, 磷肥才一直具有促进生长发育的明显优势, 表现出增产效果。统计结果表明, 土壤有效磷稻季高达11.8ppm(P), 麦季高达17.0ppm(P)时, 磷肥仍然能使稻麦生育前期地上部分干重增加5%和10%, 而要获得同样数值的产量效果, 则稻季土壤有效磷需低于5.3ppm(P), 麦季需低于9.3ppm(P)。

(二) 施磷增产效果与土壤有效磷含量的关系

盆栽和田间试验结果一致表明, 施磷增产率(y)与土壤有效磷含量(x)呈极显著的半对数负相关^①, 即土壤有效磷含量越高, 施磷增产率越低。

13组水稻盆栽试验结果所得的回归方程为 $\hat{y} = 39.8 - 18.3 \ln x$, 相关系数 $R = -0.919^{**}$ (图1)。

44组水稻田间试验结果所得的回归方程是 $\hat{y}_{\text{稻}} = 14.7 - 5.81 \ln x$, 相关系数 $R = -0.833^{**}$ 回归的估计标准误(剩余标准差) $Sy, x = 3.06$ 。各 x 值取对数, 其平均值 $\overline{\ln x} = 1.62$, 其均方 $SS \ln x = 26.5$, $\hat{y}_{\text{稻}}$ 值的估计标准误⁽¹⁾

$$\hat{Sy}, x = Sy, x \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(\ln x - \overline{\ln x})^2}{SS \ln x}} = 0.593 \sqrt{27.1 + (\ln x - 1.62)^2}.$$

两尾概率值为0.1的临界 t 值为: $t_{0.1} = 1.68$, $y_{\text{稻}}$ 值90%置信下限 $L_{\text{稻}1}$ 及上限 $L_{\text{稻}2}$ 为:

$$L_{\text{稻}1} = \hat{y}_{\text{稻}} - t_{0.1} Sy, x = \hat{y}_{\text{稻}} - 1.001 \sqrt{27.1 + (\ln x - 1.62)^2},$$

$$L_{\text{稻}2} = \hat{y}_{\text{稻}} + 1.001 \sqrt{27.1 + (\ln x - 1.62)^2} \text{ (图2)}.$$

44组小麦田间试验结果所得的回归方程是 $\hat{y}_{\text{麦}} = 84.6 - 33.5 \ln x$, $R = -0.918^{**}$, 其 $y_{\text{麦}}$

值90%置信下限 $L_{\text{麦}1}$ 及上限 $L_{\text{麦}2}$ 为: $L_{\text{麦}1} = \hat{y}_{\text{麦}} - 3.70 \sqrt{27.0 + (\ln x - 1.80)^2}$, $L_{\text{麦}2} = \hat{y}_{\text{麦}} + 3.70 \sqrt{27.0 + (\ln x - 1.80)^2}$ (图2)。

田间施磷增产效果除受土壤有效磷影响外, 还受作物品种、栽培水平、土壤肥力和气候等多种因素的交互作用。因而在相同有效磷水平的多个土壤上, 磷肥增产效果不尽相同。但是上述回归分析表明, 单一的有效磷变量因素与稻麦施磷增产效果的相关性仍然很密切^②。统计测定, 在本项试验条件下施磷增产率的

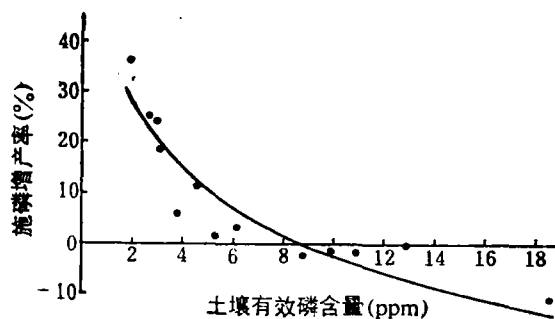


图1 水稻施磷增产率与土壤有效磷含量的关系
(盆栽试验)

① 施磷增产率 = [(施磷区产量 - 不施磷区产量) / 不施磷区产量] × 100。土壤有效磷含量的单位为ppm(P)。

② 鲁如坤, 南方水稻土磷肥的合理施用。中国土壤的合理利用和培肥, 第125, 1983页。

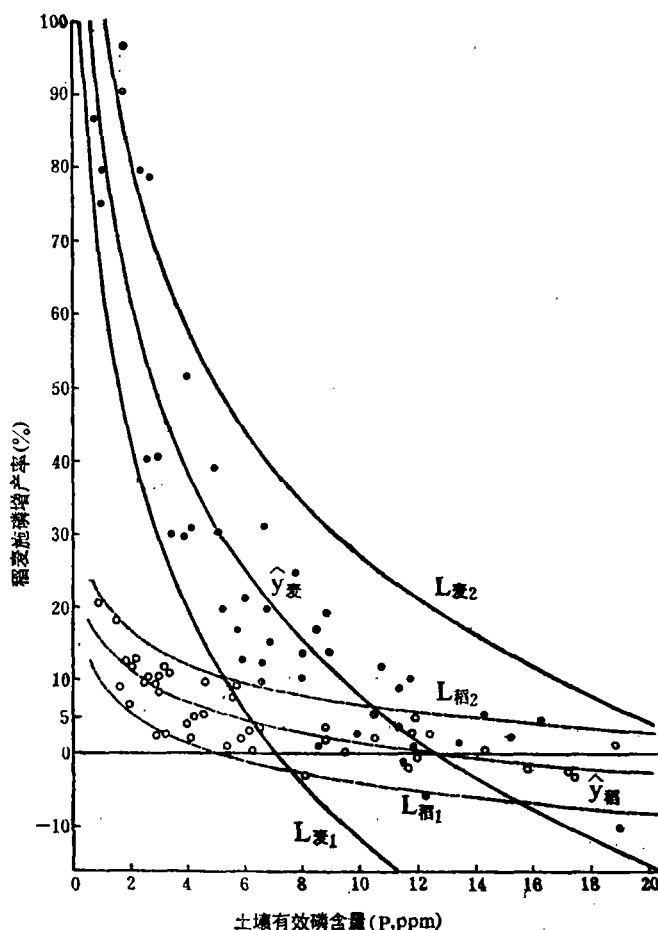


图2 稻麦施磷增产率与土壤有效磷含量的关系
(田间试验)

69.4% (水稻) 和 84.3% (小麦) 是由土壤有效磷提供的。所以在栽培条件相似的苏南丘陵地区下蜀黄土母质发育的水稻土上，可参考上述方法来预估稻麦施磷效果，即测定某一田块有效磷，代入方程算出施磷增产率。另外，根据本试验的回归模型及其有关项次的系数值，可以推导出几个涵义不同的土壤有效磷临界值范围以及对应的施磷增产效果 (表 2)，用以简便地定性指导施肥。试就本试验结果为例说明：

1. 施磷基本上都能盈利的土壤有效磷临界值范围：因为本试验条件下，施磷增产率达 5% (水稻) 和 10% (小麦) 时，增加的产值相当于磷肥投本，所以在有效磷值 (x) 满足于前述下限方程 $L_{稻1} > 5$, $L_{麦1} > 10$ 的各个田块里施磷，基本都能盈利 (保证率 > 95%)。由此得出保证盈利的临界值，是土壤有效磷稻季低于 2.1 ppm (P) 和麦季低于 5.2 ppm (P)。即有效磷在此范围的田块一定要施磷。

2. 施磷后半数以上田块增产并能盈利的土壤有效磷临界值：在有效磷值 (x) 满足于方程 $y_{稻} > 5$, $y_{麦} > 10$ ，即在稻季土壤有效磷 2.1 至 5.3 ppm (P) 和麦季 5.2 至 9.3 ppm (P) 的各个田块里施磷，大多数田块表现增产效果，并且有半数以上田块盈利。所以在肥料较充裕时，这类田块也应施磷。

3. 施磷后半数以上田块能增产的土壤有效磷临界值：据推导结果该临界值是 12.5 ppm

(P)。在稻季土壤有效磷5.3至12.5ppm(P)和麦季9.3至12.5ppm(P)的各个田块里施磷,虽然多数田块有少量的增产效果,但扣除磷肥投本后,半数以上的田块亏本,所以这类田块一般不必施磷。

表2 土壤有效磷临界值范围与施磷的效果

作物	磷的临界 值范围 ppm (P)	试点 数 (个)	平均产量 (斤/亩)		施 磷 增 产				增 产 机 率 (%)	盈 利 机 率 (%)
			施磷	无磷	斤/亩		%			
					平均	变 幅	平均	变 幅		
水 稻	0.8—2.1	7	995	880	115	56—157	13	6—21	>99.7	>95
	2.1—5.3	14	965	896	69	22—120	8	2—11	99—95	95—50
	5.3—12.5	18	982	954	27	-20—67	3	-3—8	95—50	50—6
	12.5—18.6	5	898	926	-28	-25—6	-3	-3—1	<50	<6
小 麦	0.8—5.2	16	320	205	115	23—211	56	18—19	≈100	>95
	5.2—9.3	17	436	373	63	10—190	17	2—37	100—81	95—50
	9.3—12.5	8	380	366	14	-8—80	4	-2—19	81—50	50—19
	12.5—18.6	3	492	499	-7	-40—30	-2	-10—5	<50	<19

在土壤有效磷高于12.5ppm(P)的各个田块施磷,稻麦各季均有半数以上的田块出现减产现象,绝大多数田块亏本。所以,在与本试验相似条件下,这类田块切勿施磷。

上述结果表明,在苏南丘陵地区主要土种(黄白土、马肝土)上,有经济效益的水稻施磷临界值是5.3ppm(P),小麦施磷临界值是9.3ppm(P)。即土壤有效磷低于此值的稻麦两熟田,施用磷肥可以获得一定的经济效益,而高于此值,施磷的经济效益低而不稳,甚至有亏本的可能性^①。

(三)秧田施磷对水稻移栽后磷肥效果的影响

据前述回归测定,除土壤有效磷以外的其他诸因素对施磷增产率的影响,在小麦上只有15%,而水稻上却有30%。为此,有必要进一步探求决定水稻施磷增产效果的其他因子。

张守敬等指出,磷在水稻体内转移和再利用率较其他元素高^②,它可以从衰老器官转移出来参与合成新的组织。所以水稻移栽后体内磷素状况必然受到秧苗含磷丰缺程度的影响,为此,我们补充了一个试验:在有效磷1.8ppm(P)的缺磷土壤上,分区段施入磷肥(P_2O_5 , 12%)每亩0, 25, 50, 75, 100, 125斤,随后育秧。再移栽至有效磷3.2ppm(P)缺磷土壤上的施磷小区(亩施50斤磷肥)和不施磷小区中,进行田间、盆栽试验。试验不施有机肥,其他肥料用量和方法均按常规。得到土壤缺磷条件下,水稻移栽后施磷增产率 y 与秧苗含磷总量 x 之间的线性负相关关系,(盆栽) $y = 110.6 - 141.8x$, $R = -0.944^{**}$, $0.26\% \leq x \leq 0.74\%$,回归的估计标准误 $S_{y,x} = 7.56$ 。移栽后亩施磷肥50斤区的产量(y_{50} ,斤/亩)与秧田施磷量(x ,斤/亩)的关系为 $y_{50} = 1009 + 2.017x - 0.0136x^2 \dots \dots (1)$;移栽后不施磷区的产量(y_0)与秧田施磷量(x)的关系为 $y_0 = 827 + 3.380x - 0.0150x^2 \dots \dots (2)$ (表3)。

表中数据经统计可知,本试验条件下,秧田磷肥施用量超过75斤/亩后,秧田继续增施磷肥,对提高秧苗磷素含量的作用不显著,秧苗适宜的含磷量是 P_2O_5 0.64—0.72%。

对上述回归方程(1)及(2)求导数后,推算出本试验秧田适宜的施磷量为亩施69斤过磷

① 周清湘等:稻田测土施用磷钾肥的研究。中国土壤的合理利用和培肥,第101页,1983。

② 张守敬:淹水土壤中磷的动态和水稻磷营养及施用磷肥。农业科技译丛,湖南农学院、湖南省农科院编辑,第1期,第40页,1982。

酸钙。若按秧田与大田比1:6计算,移栽一亩水稻相当于秧田中施入磷肥11.5斤,能增产74—162斤/亩,折每斤磷肥增产6.4—14.1斤稻谷。大田施磷50斤/亩,增产89—182斤/亩,折每斤磷肥增产1.8—3.6斤稻谷。就每斤磷肥增产的稻谷数量而言,秧田施磷的经济效益比大田施磷高2.5—3倍。所以为了更有效地利用磷肥应该首先满足秧田用磷的需要。

当然,秧田适量施磷,育成含磷量适宜的秧苗,若移栽到缺磷的大田中,大田施磷50斤/亩,仍有6.6—9.0%的增产效果。说明秧苗期充裕的磷素供应,不能完全解决水稻移栽后对磷素的需求^[2]。生产上必须根据具体的秧田和大田土壤磷素状况,决定两者的磷肥分配量。

三、小结

1. 在生态条件基本相似的苏南丘陵地区

下蜀系黄土母质发育的水稻土(黄白土、马肝土)上,附合经济学观点的水稻施磷临界值是5.3ppm(P),小麦施磷临界值是9.3ppm(P),土壤有效磷低于此值时就应该使用磷肥。

2. 有效磷在12.5ppm(P)以下的土壤,小麦施磷增产效果大于水稻,所以,磷肥应该优先分配在小麦上施用。当肥料较充裕时,全年磷肥分配在各季的最佳方案,可根据本工作得到的水稻、小麦各季的施磷指标和具体的土壤磷素状况来拟定。

3. 秧田用磷和秧苗体内磷素含量直接影响到大田施磷效果,呈一直线负相关。秧田用磷的经济效益大大超过大田用磷,所以为了磷肥的有效利用,应该首先满足秧田用磷的需要。而当磷肥充裕时,必须分别根据具体的秧田和大田磷素状况,决定两者的磷肥分配量。

参考文献

[1] 南京农学院主编:田间试验和统计方法。第206—208页,农业出版社,1979。

[2] 万传斌、邱嘉璋:水稻不同生育时期对磷的吸收利用。江苏农业科技,第8期,第27页,1982。

(上接第176页)

[4] 黄福珍,论蚯蚓在土壤肥力中的作用。土壤通报,4:40—42,1964。

[5] Van Rhee, J.A., Plant and Soil, 22: 45—48, 1965.

[6] Edwards, C.A. and Lofty, J.R., Biology of earthworms, Second edition, p. 197, 192, John Wiley and Sons, New York, 1977.

[7] Russell, E.J., J. Agric. Sci., 3: 246—257, 1910.

[8] Hopp, H. and Slater, C.S., Soil Sci., 66: 421—428, 1948.

[9] 蒋剑敏、熊毅,土壤有机无机复合体。土壤胶体的物质基础(熊毅等编著),326—420页,科学出版社,1983。

[10] CSIRO division of soils, Earthworms for gardeners and fishermen. Commerical Printing House, Adelaide, 1978.

[11] 黄福珍,论蚯蚓对土壤结构形成及性态的影响。土壤学报,3:2211—217, 1979。

[12] Greendland, D.J., Soil Sci., 111: 34—41, 1971.

[13] Dutt, A. K., J. Am. Soc. Agron., 40: 407, 1948.

[14] Stockdill, S. M. J., Soil and Ferts., 46: 43, 1983.

表3 秧田施磷和大田施磷效果的关系

秧田 施磷量 (斤/亩)	秧田 含磷量 (%)	秧田百 株干重 (克)	田间产量(斤/亩)	
			施磷肥50斤	未施磷
0	0.264	9.00	1010	810
25	0.286	10.0	1061	912
50	0.489	13.7	1059	1005
75	0.643	11.8	1080	963
100	0.682	12.5	1083	986
125	0.719	15.6	1063	1034
150	0.736	20.0	996	997