

# 苏北湖相沉积物土壤的磷素状态与有效磷分级指标

蔡大同 熊德祥

(南京农业大学)

常龙福 周立业

(江苏省兴化县农业局)

苏北湖相沉积物土壤，系指江苏省里下河地区发育于近代湖积物上、沼泽起源的水稻土<sup>[1]</sup>，主要分布在江苏省兴化县和射阳湖沿岸，过去多为一熟“沤田”(一年种植一季极早熟水稻)属于低产土壤之一。据1953年统计，全区“沤田”面积约524万亩，其中兴化县为150万亩，占该县耕地面积的66.5%，粮食单产徘徊于二、三百斤之间。六十年代中期，通过施用磷肥同时发展绿肥的途径<sup>[2]</sup>，建立了稳定的水旱两熟制。在这期间(1966—1970年)兴化县粮食生产平均年递增速度为8.9%，成为全国提供商品粮最多的县份之一。

十几年来，化学氮肥的供应量不断增多，磷肥也逐年施用，但土壤缺磷现象仍然很普遍。如兴化县最近的土壤普查结果<sup>[1]</sup>，全县土壤有效磷(0.5M Na-HCO<sub>3</sub>法，下同)含量，按照常用的分级制统计，<5 ppm占41.5%，5—10 ppm占44.4%，10—15 ppm占11.0%和>15 ppm的占3.0%。本文目的是根据土壤脱沼泽后磷素状况与有效磷的关系，探讨土壤有效磷的分级在稻、麦上的具体指标。

## 一、土壤脱沼泽化初期 有效磷状况

过去对该地区土壤缺磷的现象<sup>[2]</sup>及原因<sup>[3]</sup>已有些研究。表1为一部分田间小区试验结果，表明土壤脱沼泽化初期，即沤改旱第一年土壤严重缺磷，小粉浆土比鸭屎土更甚，单施过磷酸钙的三麦产量与当地惯用的大量泥肥或猪厩肥有同样效果。而另一试验用化学氮肥同磷肥一起或单独作基肥都没有增产表现。

泥肥是当地重要肥源，用稀酸提取的有效磷比土壤高得多；用扩散法测得的碱解氮释放过程，泥肥与新改旱田土壤很相似，它们在初期的释放强度都明显地高于老稻麦田土壤。这些结果，说明泥肥在新改旱田上主要是改善三麦苗期的磷素营养条件，但在老麦田上则兼有补充土壤氮源不足的作用；另外也说明了

化学氮肥在新麦田作基肥没有增产作用的原因。

## 二、土壤理化性状变化与 有效磷的关系

(一)土壤物理性状 “沤改旱”是使一熟沤田的沼泽型水稻土改变为水旱两熟的脱沼泽水稻土，土壤物理性状发生明显的变化，其中最突出的是形成僵硬大土块，它对于耕作和旱作物的生长都带来不良的影响。

表2列举一组新、老麦田在麦收后测定的各级结构体的有机质、全磷和有效磷的结果，其中改旱田在种麦时每亩施用过磷酸钙50斤(P，4斤)，老麦田则否。老麦田各级结构体的有机质、全磷和有效磷差别都很小，表明它们在水旱交替时均匀地分散在不同结构体中。新改旱田，尤其是当年改旱麦田上，土壤有效磷是随着结构体减小而递增，这种现象是由于种麦时施用磷肥的残留效应，而不是改旱后形成大土块使有效磷“禁闭”的结果。因为分析有效磷时，各级土块都粉碎通过2毫米筛子，那么2—0.5毫米结构体的有效磷不应该与<0.5毫米的相差三倍多，再者<2毫米的二级结构体尽管在整个土层中的比率只占8.6%；而有效磷达20.4和68.0 ppm，旱作物也不会有严重缺磷的表现。

从另一组土壤(小粉浆土)测得的有效磷结果，并不象上述鸭屎土那样随着结构体减小而明显地增多，如第一年改旱的各级结构体有效磷分别为5.6，6.6，6.6和6.8 ppm，改旱第二年的有效磷分别为4.0，4.0，6.0和6.0 ppm；老麦田分别为6.2，8.0，8.0和10.0 ppm。因此，土壤物理性状恶化不足以解释沤改旱土壤严重

① 兴化县土壤普查办公室资料，1982。

② 扬州专区农科所，里下河地区磷肥肥效研究，江苏省农业科技工作会议资料，1958。

表1 第一年改旱田大、元麦对肥料的反应  
(1964年兴化县)

处 理	鸭 尿 土		小 粉 膏 土	
	大麦产量 (斤/亩)	产量比较	元麦产量 (斤/亩)	产量比较
对照(无肥区)	226	100	30	100
泥渣(120担/亩)	274	121	—	—
过磷酸钙(60斤/亩)	320	142	227	757
过磷酸钙(60斤/亩) 硫酸铵(15斤/亩)	282	125	230	766
猪灰(1000斤/亩)	313	138	216	720
猪杂灰(3000斤/亩)	—	—	278	927

缺磷现象。

(二)土壤化学性状 从沤田到两熟田的发展过程中,土壤化学性状的变化同磷素固定有密切的关系。下面仅列举部分田间定位观测的资料(表3—5)着重叙述土壤中活性铁对磷素化学状态的重大影响。

表3 中的鸭屎土,在沤田时期土壤为水分饱和,剖

表2 不同结构体的养分状况  
(1964年5月 兴化县)

田 块	结 构 体 (直 径, 毫 米)	有 机 质 (%)	全 磷 ( $P_2O_5$ %)	有 效 磷* (P, ppm)
第一年改旱 麦田 (吴家圩) (鸭屎土)	>8	2.49	0.089	6.9
	5—2	2.28	0.091	16.0
	2—0.5	2.37	0.103	20.4
	<0.5	2.61	0.098	68.0
第二年改旱 麦田 (赵家圩) (鸭屎土)	>8	2.41	0.081	5.6
	5—2	2.58	0.089	6.0
	2—0.5	2.52	0.096	10.5
	<0.5	2.74	0.089	10.5
老稻麦两熟 田 (吴家圩) (红沙土)	>8	2.02	0.110	13.1
	5—2	2.19	0.117	15.8
	2—0.5	2.19	0.117	14.2
	<0.5	2.26	0.116	16.8

\* 0.5M  $NaHCO_3$  提取

表3 沤田改旱前后土壤氧化还原电位和活性亚铁的变化\*

沤 田			改 旱 田				
水 分 饱 和 状 态			排水落干后二个月, 耕翻之前			耕 翻 后	
土 层 (厘 米)	氧化还原电位 (毫 伏)	活性亚铁 ( $Fe^{++}$ , 毫克 当量/100克土)	土 层 (厘 米)	氧化还原电位 (毫 伏)	活性亚铁 ( $Fe^{++}$ , 毫克 当量/100克土)	氧化还原电位 (毫 伏)	活性亚铁 ( $Fe^{++}$ , 毫克 当量/100克土)
鸭 尿 土							
0—11	118±32	4.59	0—12	377±25	2.20	512±43	0.21
11—32	106±23	5.88	12—23	262±97	3.03	283±103	2.76
32—54	109±17	4.96	23—40	131±16	9.19	210±29	5.98
小 粉 膏 土**							
0—10	250±7	1.56	0—6 6—13	467±8 461±12	0.12 1.25	446±9 454±11	0.08 0.08
10—20	263±13	1.79	13—26	318±89	0.81	344±74	0.72
20—40	250±8	2.89	26—40	175±9	6.75	253±30	6.16

\* 氧化还原电位: 用铂电极在田间剖面各层测10点的平均值与标准差。

活性亚铁: 用 pH3.0 硫酸铝溶液提取, 加入盐酸羟胺和邻菲啰啉比色。

\*\* 小粉浆土因干涸故复水后半耕。

面层次模糊, 还原性强, 活性亚铁多。当排水落干二个月后, 表土的氧化还原电位从沤田的 $118\pm32$ 毫伏上升至 $377\pm25$ 毫伏, 耕翻后半个月又提高到 $512\pm43$ 毫伏, 活性亚铁则从4.5减少至2.2和0.21毫克当量/100克土, 有效磷从土壤落干后的23.6降到5 ppm (P)。

小粉浆土的情况也类似, 只因这类土壤的有机质较少, 质地较轻, 排除沤田地面水后, 土体容易干涸沉实, 土壤氧化还原电位较高, 亚铁较低而且氧化较快, 但是耕翻后随着活性亚铁减少, 有效磷也从6.3降低到2 ppm (P)。可见, 在沤改旱初期, 土壤磷的固定作用

表 4

## 新、老麦田耕作层无机磷组分

(1964年5月 兴化县严家大队)

田块	各组无机磷含量(P, ppm)					无机磷总量 (P, ppm)	各组无机磷比率(%)			
	Al-P	Fe-P	Ca-P	O-Al-P	O-Fe-P		Al-P	Fe-P	Ca-P	O-Fe-P
新麦田	4.5	15.3	91.3	微	262	372	1.2	4.1	24.5	70.2
老麦田	3.8	24.0	79.0	微	246	353	1.1	6.8	22.4	69.8

注：新麦田施用过磷酸钙，老麦田只施泥肥。

O-Al-P 和 O-Fe-P 表示闭蓄态铝磷和铁磷，余为非闭蓄态。

是与活性亚铁进行氧化同时发生，新生的氢氧化铁以及体系中同时存在的亚铁，都有可能成为磷酸铁盐的胶膜，使磷素固定进一步转为闭蓄态。

表 4 是新改旱麦田和老稻麦两熟田耕作层土壤无机磷组分测定的结果。表中老麦田在种麦时未施用化学磷肥，它代表这地区湖相沉积物发育的老水稻土原有的磷酸盐化学状态。新麦田为脱沼泽化初期，从四组无机磷相对比率看，它与老麦田很相似，尤其是闭蓄态磷都在70%左右，非闭蓄态铁铝磷酸盐只占5—8%，

各级结构体的无机磷组分结果也类似(表 5)，不过在<0.5毫米结构体的表面，铝铁磷酸盐的相对比率较高。由此，可以想象到这地区的老稻麦两熟田当初脱离沼泽化时，如同现在的新改旱田一样经历了土壤磷素“退化”阶段。由于土壤无机磷组分还与风化程度有密切关系，所以磷素的化学状态可视为成土过程特征的反映，这对于该地区土壤磷素的利用和磷肥的施用有一定的参考意义。

## (三) 土壤磷素化学状态与有效磷的关系 里下河

表 5

## 不同土壤结构体(干筛法)的无机磷组分\*

(1964年5月兴化县)

田块 (地点)	结 构 体		各组无机磷含量(P, ppm)					无机磷总 量 (P, ppm)	各组无机磷比率(%)				有效磷 (P, ppm)
	直 径 (毫米)	比率 (%)	Al-P	Fe-P	Ca-P	O-Al-P	O-Fe-P		Al-P	Fe-P	Ca-P	O-Fe-P	
第一年改 旱麦田 (吴家圩)	>8	80	3.5	12.9	84.3	微	—	—	—	—	—	—	6.9
	5—2	6.2	5.7	13.5	86.5	微	269	375	1.5	3.6	23.1	71.8	16.0
	2—0.5	5.0	4.4	12.9	82.1	微	289	388	1.1	3.3	21.1	74.5	20.4
	<0.5	3.6	11.5	30.0	99.1	微	290	431	2.7	7.0	23.0	67.3	68.0
第二年改 旱麦田 (赵家圩)	>8	71.6	1.6	6.1	109	微	227	344	0.5	1.8	31.7	66.0	56
	5—2	9.8	3.4	5.5	121	微	236	366	0.9	1.5	33.1	64.5	6.0
	2—0.5	7.9	4.8	10.0	119	微	256	390	1.2	2.6	30.5	65.7	10.5
	<0.5	4.3	3.5	13.1	111	微	293	421	0.8	3.1	26.4	69.7	10.5
老稻麦两 熟田 (吴家圩)	>8	60.3	4.8	22.5	93	微	238	358	1.3	6.3	26.0	66.4	13.1
	5—2	14	5.1	24.0	81.7	微	266	377	1.4	6.4	21.7	70.5	15.8
	2—0.5	12.7	7.0	25.3	82.1	微	293	407	1.7	6.2	20.2	71.9	14.2
	<0.5	5.3	6.9	24.7	96.9	微	236	365	1.9	6.8	26.6	64.7	16.8

\* O-Fe-P 表示闭蓄态铁磷(或铝磷；O-Al-P)，余皆为非闭蓄态。

地区土壤是以铁磷为主、钙磷较多的类型。铁磷在淹水还原条件下为水稻的重要磷源[4,5]。如表6是沤田土壤浸水(二个月)前后有效磷的变化。一般情况下，钙磷多存在于土壤粗粒部分中，有人用同位素<sup>32</sup>P 测定无机磷各组分的表面活性比，说明Ca-P 在大多数土壤中都不是有效磷的重要来源①。根据兴化县湖相沉积物水稻土的有效磷与无机磷组分的多元回归分析结果，也得到类似的论断。

根据表 5 的结果，用复回归分析方法，得出土壤有效磷(Y)在非闭蓄状态的铝磷( $X_1$ )、铁磷( $X_2$ )和钙磷( $X_3$ )的组合效应，其复回归方程为：

① 张守敬：淹水土壤中磷的动态和水稻磷营养及施用磷肥，《台湾省亚洲太平洋粮食肥料技术中心协会论文集》。1980(湖南农学院，吴明光译，1982)。

表6

沤田土壤渍水(二个月)前后有效磷的变化\*

土号	土名	采样地点	有效磷 (P, ppm)	
			风干时	渍水后
63-001	鸭屎土	兴化县严家公社严家大队赵家圩	31	76
-011	小粉浆土	兴化县林湖公社姚家大队九顷圩	18	40
-022	草渣土	兴化县沙沟公社董南大队季家圩	4.1	47
-027	鸟泥土	兴化县沙沟公社董南大队家西圩	12	53
-046	芦泰土	盐城秦南公社商侍大队	19	63

\* 有效磷提取剂为 Truog 溶液 +  $\text{NH}_4\text{F}$

$$\ln \hat{Y} = 2.11 + 1.01 \ln X_1 + 0.193 \ln X_2 + 0.0435 \ln X_3$$

复相关系数  $R_{y,123} = 0.861^{**}(n=12)$  非常显著, 回归标准误估计  $S_{y,123} = 0.173$ 。无机磷各组分的标准偏回归系数分别为: 铝磷  $b'_{y1,23} = 0.728$ , 铁磷  $b'_{y2,13} = 0.162$ , 钙磷  $b'_{y3,12} = 0.0968$ ; 它们之间的比值表示无机磷各组分对于有效磷效应的相对强度, 如

$$\frac{b'_{y1,23}}{b'_{y2,13}} = \frac{0.728}{0.162} \approx 4.5, \text{ 即铝磷同有效磷的关系最}$$

密切约为铁磷的4.5倍, 为钙磷( $\frac{0.728}{0.0968}$ )的7.5倍, 它指出了苏北湖相沉积物土壤的磷酸钙盐活性很低, 对于土壤有效磷的贡献很小。

### 三、土壤有效磷在稻麦上的分级指标

国内各地应用  $0.5M \text{ NaHCO}_3$  法测得的有效磷

表7

磷肥在水稻上的增产率与土壤有效磷的关系

(1981年)

试验地点	周庄社站	大垛区站	周庄友谊	向阳2队	跃进社站	向阳1队	县农科所
土壤有效磷(P, ppm)	2.2	4.1	6.8	6.9	8.5	11.8	25.5
水稻增产率(%)	15.7	15.4	8.8	7.0	3.9	1.9	0.4
对照区产量(斤/亩)	710	731	1025	877	853	973	955

临界值, 5.3—7.5为临界范围, 小于5.3ppm(P)为严重缺磷, 7.5ppm(P)以上为土壤供磷水平丰足。

(二) 稻麦: 表8为1981和1982年两年稻麦的磷肥田间小区试验资料。Y表示磷肥在稻麦上的增产率(%), X表示土壤有效磷(P, ppm), 它们的曲线回归方程以及有关的统计值如下:

$$\ln \hat{Y} = 4.76 - 1.13 \ln X \text{ 或 } \hat{Y} = 116.4 X^{-1.13}$$

$$r = -0.905^{**}(n=9), S_{y,x} = 0.328, S_b = 0.201.$$

能够反应作物产量水平或磷肥效应。兴化县近年来的田间小区试验结果, 也表明磷肥在水稻和三麦上的增产效应与有效磷量有紧密的相关性, 进一步应用数理统计分析方法, 将土壤有效磷划分为若干等级。

(一) 水稻 1981年7个田间小区试验结果列于表7。磷肥对水稻的增产率(Y, %)与土壤有效磷(X, P, ppm)的回归方程, 相关系数(r), 回归标准误( $S_{y,x}$ )和回归系数标准误( $S_b$ )如下:

$$\ln \hat{Y} = 4.70 - 1.60 \ln X \text{ 或 } \hat{Y} = 109.7 X^{-1.60}$$

$$r = -0.942^{**}(n=7), S_{y,x} = 0.484, S_b = 0.255$$

根据回归系数(b)的95%置信区间估计:  $b \pm t_{0.05} \cdot S_b$  ( $t_{0.05} = 2.571$ ), 得出包括  $b = -1.60$  在内的置信区间上下限为 -2.252 和 -0.941, 代入回归方程的X导函数:  $\frac{dY}{dX} = -175.1 X^{-2.60}$ , 解得: 以  $X_0 = 6.1$  为中值的95%置信限7.5和5.3ppm(P)。

统计结果表明, 6.1ppm(P)为水稻对磷肥反应的

包括  $b = -1.13$  在内的回归系数的95%置信区间估计 ( $t_{0.05} = 2.365$ ) 的上下限为 -1.608 和 -0.658, 代入回归方程一阶导数  $\frac{dY}{dX} = -131.9 X^{-2.13}$  解得: 以  $X_0 = 9.3$  为临界值(中值)的95%置信范围为 7.9—12.0ppm(P)。

上述结果表示, 三麦对磷肥反应的土壤有效磷临界值及其范围为9.3和7.9—12.0ppm(P), 7.9以下为严重缺磷, 12.0ppm(P)以上为丰足。

表 8

磷肥在三麦上的增产率与土壤有效磷的关系

(1981—1982年)

试验地点	葛家	向阳	钓鱼	顺庄	北山	边城	安丰	向阳1队	县农科所
土壤有效磷( $P$ , ppm)	4.2	3.8	5.4	6.8	6.8	9.8	7.3	11.8	25.2
三麦增产率(%)	16.1	25.8	20.5	11.4	12.5	7.2	25.2	6.4	2.9
对黑区产量(斤/亩)	495	449	619	529	504	560	631	520	701

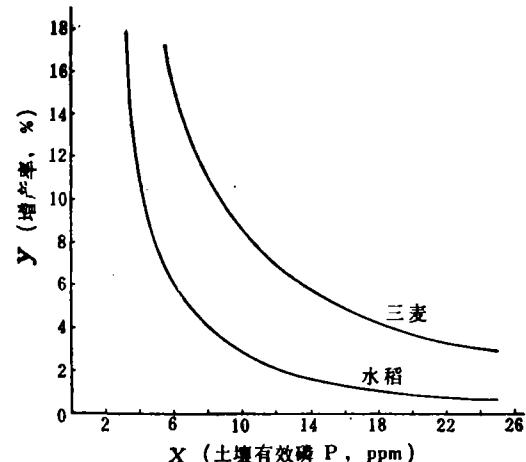


图1 水稻、三麦上磷肥增产率——土壤有效磷的回归曲线

(三) 土壤有效磷分级与应用 从水稻和三麦的磷肥效应与土壤有效磷回归曲线(图1)可看出,这两条曲线之间有显著差异,推导出来的土壤有效磷级别也迥然不同,它符合水、旱条件下土壤磷素供给与磷肥效果的一般规律,并与其他工作者在石灰性、中性和酸性土壤上的研究结果一致<sup>[6,7,8]</sup>。

#### 四、摘要

本文叙述了江苏省里下河地区发育于近代湖相沉

积物上的水稻土,在脱沼泽化后土壤磷素状况及其与有效磷的关系,探讨了土壤有效磷的分级指标。根据田间小区试验资料,应用数理统计分析方法,导出水稻和三麦对于磷肥反应的土壤有效磷临界值分别为6和9ppm( $P$ ),水稻和三麦表现缺磷时分别在5和8ppm( $P$ )以下,土壤有效磷丰足时分别为7.5和12ppm( $P$ )。这个分级法可供一般稻麦两熟田施用磷肥的参考。

#### 参考文献

- [1] 雷文进、朱洪官:江苏省里下河地区的土壤和改良利用途径。土壤专刊,第36号,130—178页,1964。
- [2] 南京农学院兴化样板工作组:江苏省里下河地区“沤改旱”种绿肥的经验。土壤学报,14(2):189—195页,1966。
- [3] 文启孝:江苏省里下河地区新改旱田灰肥及磷肥施用问题。土壤学报,9(3—4):113—116页,1961。
- [4] 蒋柏藩等:南方水稻土中的磷酸铁对水稻磷素营养的意义。土壤学报,11(4):361—369页,1963。
- [5] 鲁如坤等:我国南方几种水稻土的磷肥施用问题。土壤学报,10(2):175—181页,1962。
- [6] 黎耀辉:几种测定石灰性土壤有效磷的方法比较。土壤学报,11(2):215—219页,1963。
- [7] 史陶钩等:酸性水稻土有效磷测定方法的研究。土壤学报,16(4):409—413页,1979。
- [8] 傅明华等:上海土壤磷素状况的研究。土壤学报,16(4):372—379页,1979。

### 《中国农业科学》1985年征订启事

《中国农业科学》是中国农业科学院主办的综合性农牧业科学学术性刊物。主要报道我国农牧业科学在基础理论和应用技术研究方面的学术论文,重要科研成果的专题报告,各学科研究的新进展和综述等。读者对象是国内外农牧业科技工作者和院校师生,农业生产战线上的干部等。

本刊为双月刊,每册16开本96页,另附图版2—4页。国内发行每册定价0.55元,全年3.30元。全国各地邮局办理订阅,代号:2—138。1984年11月份开始收订1985年各期,请勿错过。

国外发行由中国国际图书贸易总公司(中国国际书店)承办,代号:BM43。