

潜育性水稻土磷素形态和供磷水平的研究*

肖永兰

(湖南农学院)

土壤因母质来源、发育程度和pH不同,其磷素的形态、含量、供磷能力和对磷的固定强度等都有很大的差异。有关这方面的情况虽然已有很多报道^[1-6],但在潜育性土壤上的表现及对水稻生长发育的影响,研究报道很少。为了探索潜育性水稻土磷肥肥效的机理和潜育性水稻土低产的原因,作者对潜育性水稻土的磷素状况进行了一些试验研究,现总结如下:

一、试验材料与方法

供试土壤为湖南有代表性的七种母质发育的潜育性水稻土,为了便于比较,以同一母质邻近田块的非潜育性水稻土为对照。试验土壤大部分层次为Ag和A,也有部分为犁底层Pg和P。各供试土壤的成土母质、土壤类型情况列于表1,土壤的基本性质列于表2。

表1 供试土壤种类和母质来源

取样地点	成土母质	潜育性水稻土		非潜育性水稻土	
		土壤名称	土样数	土壤名称	土样数
长沙县	第四纪红土	锈水田	1	红黄泥田	5
		冷浸涝泥田	1	—	—
湖南农学院		青灰泥田	5	—	—
长沙、湖乡县	板页岩	青泥田	2	熟黄泥田	3
长沙县	花岗岩	冷浸麻沙泥田	2	麻沙泥田	2
衡阳县	紫色页岩	青紫泥田	1	紫泥田	1
临武、嘉木县	石灰岩	青灰泥田	2	灰泥田	2
常德县	长江冲积物	青紫潮泥田	2	紫潮泥田	2

结合上述测试分析,还采取了部分土壤(冷浸涝泥、红黄泥、青灰泥、灰泥、青紫潮泥、紫潮泥等)进行盆栽试验。同时利用湖南农学院人工水泥池的模拟试验进行了部分测试分析,模拟池土壤来源于第四纪红土发育的旱土,其主要设计处理为不同耕作制,即稻一稻一冬泡;稻一稻一油菜;稻一稻一绿肥,其中稻一稻一冬泡与潜育性水稻土性状相似。

土壤无机磷分级按张守敬和Jackson法。有机磷用灼烧— $0.2\text{NH}_2\text{SO}_4$ 浸提法。有效磷用Olsen法。植株和土壤全磷用酸溶—钼锑抗比色法。土壤的磷酸吸持容量用1%磷酸三铵(pH=7),在25℃恒温下处理土壤,测定处理前后溶液中磷酸浓度之差,计算土壤磷酸吸持容量,

*本文承蒙徐文征、潘漱清教授审阅。土化专业80、81级吴德意、肖益群、赵德湘参加部分工作。

表 2 供 试 土 壤 基 本 性 质

潜 育 性 水 稻 土										非 潜 育 性 水 稻 土									
名 称	pH	有机质 (%)	C.E.C (毫克当量/ 100克土)	全氮 (%)	全磷 (P %)	有效磷 (P.ppm)	全钾 (K %)	质地	粘土矿 物组成	名 称	PH	有机质 (%)	C.E.C (毫克当量/ 100克土)	全氮 (%)	全磷 (P %)	有效磷 (P.ppm)	全钾 (K %)	质地	粘土矿 物组成
青夹泥	6.5	2.35	9.01	0.162	0.140		0.992	重粘土	K, M Coll-I ⁺	红黄泥	5.5	2.06	6.24	0.153	0.190		1.19	重粘土	K, M
冷浸涝沙田	6.5	2.44	10.9	0.280	0.060	5.9	1.57	轻粘土		红黄泥	6.5	2.59	7.10	0.150	0.097	25.0	1.56	轻粘土	
锈水田	5.5	2.53	10.2	0.139	0.051	5.6	1.04	轻粘土		红黄泥	6.5	2.01	7.48	0.131	0.059	14.2	1.60	轻粘土	
冷浸麻沙泥	6.3	4.21	7.87		0.024	2.4			K, H, M ⁺ Coll-I ⁺	麻沙泥	6.3	3.89	6.91		0.071	18.1			K, H, M
青 泥	6.4	4.02	12.3	0.228	0.199	7.2	2.66	重粘土	M, H ⁺ Coll-I ⁺	熟黄泥	6.8	3.24	10.16	0.192	0.176	14.9	2.45	重粘土	M, H
青灰泥	7.5	6.20	9.73	0.37	0.102	12.5	1.09	轻粘土	K, M ⁺ Coll-I ⁺	灰 泥	7.5	5.87	9.05	0.440	0.104	6.4	1.18	重粘土	K, M
青灰泥	8.5	6.44			0.098			重粘土		灰 泥	8.5	3.97			0.096			重粘土	
紫糊泥青	8.5	3.38	12.04	0.250	0.108	5.8	2.52	重粘土	M, H ⁺ Coll-I ⁺	紫糊泥	8.5	2.26	11.96	0.180	0.124	11.7	2.41	中粘土	M, H
青紫泥	8.2	3.03	6.41	0.183	0.036	9.1	2.16	中粘土	M, H ⁺ Coll-I ⁺	紫 泥	8.2	2.36	5.12	0.171	0.055	21.0	2.81	中粘土	M, H

* K. 高岭石 H. 水云母 M. 蒙脱石 Coll-I. 胶状铁 * 示较多

表 3 土 壤 无 机 磷 的 形 态 和 含 量

名 称	潜 育 土				非 潜 育 土				Fe-P (ppm)		Al-P (ppm)	
	无机磷(P, ppm)				无机磷(P, ppm)				无机磷		无机磷	
	Al-P	Fe-P	Ca-P	O-P	Al-P	Fe-P	Ca-P	O-P	总量	全磷 (P, ppm)	总量	全磷 (P, ppm)
锈水田	29.7	72.2	28.2	212	24.6	109	12.8	260	406	589	68.9	-36.8
冷浸涝泥田	微量	64.9	微量	262	微量	130	微量	309	529	970	54.5	-65.1
青泥田	6.8	20.9	微量	190	15.8	67.3	16.7	287	387	610	63.4	-3.0
冷浸麻沙泥田	3.8	47.6	18.3	61.4	36.7	209	117	157	520	714	72.8	-161
青灰泥田	13.6	6.6	251	240	14.9	12.1	222	211	460	960	47.9	-5.5
青紫泥田	8.8	微量	44.3	154	12.1	6.9	43.3	112	174	519	31.7	-6.9
青紫泥田	—	—	284	330	—	—	422	423	835	1240	68.2	—

土壤磷的释放速率用阴离子交换树脂法^[4]。此外,还测定了土壤无定形铁(酸性草酸—草酸铵浸提法)和土壤粘粒含量。

二、结果与讨论

(一) 磷素形态和含量

土壤无机磷的形态和含量列于表3。结果说明潜育性水稻土的全磷含量,除个别情况外,一般均低于相同母质发育的非潜育性水稻土。土壤中全磷绝大部分以无机磷为主,其中闭蓄态磷(O-P)占无机磷总量的一半左右,有的可高达87%(青泥田)。酸性和中性土非闭蓄态磷中以Fe-P为主,一般Fe-P占非闭蓄态磷的70%或更高。特别明显的是潜育性水稻土Fe-P的含量显著低于同一母质发育的非潜育性土,一般只有其含量的1/4—1/2,各种母质发育的潜育性和非潜育性水稻土均无例外。土壤总铁磷量(Fe-P加O-P)也是如此, Ae-P的含量多数也有这种趋势。

各种形态的无机磷对作物都有一定的肥效,铝磷与土壤有效含量呈显著相关(相关系数 $r = 0.610^*$, $n = 10$)。可以设想它对植物的有效性较高。但因它在土壤中含量较少,对土壤供磷水平贡献不大。钙磷在酸性土中含量颇少,只有石灰性土中钙磷占优势。但它与有效磷的相关性不显著($r = 0.395$, $n = 7$),从相关系数来看似乎不大可能是土壤有效磷的主要来源。对于生长在淹水还原条件下的水稻来说,磷酸铁(Fe-P)的有效性最高,非闭蓄态磷酸铁是水稻的主要磷源。酸性土壤中被氧化铁胶膜所包被的无机磷(O-P),仍以磷酸铁为主。在长期渍水还原情况下,外层氧化铁胶膜被还原,磷酸铁可逐步转化为非闭蓄态磷,因此闭蓄态磷也是水田土壤有效磷的来源之一。将潜育型和非潜育型水田土壤的总铁磷与有效磷进行相关分析,结果说明潜育性土壤的磷酸铁盐和有效磷含量的相关性不显著($r = 0.484$, $n = 8$);但非潜育土壤磷酸铁盐含量与有效磷含量的相关性达极显著水平($r = 0.930^*$, $n = 5$)。

由此可见,作为水田土壤有效磷主要来源的磷酸铁盐,非潜育性水稻土较丰富,潜育性土壤较贫乏。土壤淹水还原后,磷的有效性可以提高,这是熟知的事实,但同样是淹水土壤,潜育土和非潜育土差异如此大,尚值得研究。

土壤淹水后,磷的有效性提高了,主要由于氧化还原电位降低,难溶性的磷酸高铁还原为溶解度较高的磷酸低铁,磷被释放出来。但伴随这一过程的进行、土壤中磷酸铁盐不可避免地会逐渐减少。潜育性土长期处于渍水还原条件下,磷酸铁盐减少特别显著。非潜育土淹水时间较短,每年有周期性落干,因此磷酸铁盐的流失较少,减少不多。为此,作者取同一母质上发育相邻近的红壤旱土、非潜育性红黄泥田和冷浸涝泥田三种土壤,分别测定其铁磷含量。结果表明非潜育土和潜育土与红壤旱地(总铁磷量为668ppm)相比,非潜育土减少139ppm,潜育土减少341ppm,因此,可以说明潜育土磷酸铁的损失量比非潜育土大得多。

为了进一步研究潜育性水稻土施用磷肥后,土壤无机磷特别是对供磷水平有较大影响的Fe-P含量。1984年采集了1983年早、晚稻均施磷肥的潜育性青夹泥田和邻近的非潜育红黄泥田(Ag和A层)进行测定,结果如表4。从表4可看出,潜育性青夹泥的Fe-P含量和占无机磷总量的比例已经达到非潜育性红黄泥的水平。

关于土壤有机磷,目前的研究方法尚不成熟。将部分供试土壤进行有机磷的测定,结果说明有机磷一般约为全磷的25—35%。从有机磷占全磷的百分比率看,潜育土有高于非潜育土的趋势,这与潜育性水稻土有机质总量高是一致的。但由于分析的样品数量较少,结果还

表 4 潜育和非潜育土无机磷组成和含量

土壤名称	潜育情况	无机磷含量(P, ppm)				无机磷总量 (P, ppm)	各级无机磷占总量(%)			
		Al-P	Fe-P	Ca-P	O-P		Al-P	Fe-P	Ca-P	O-P
青 夹 泥	潜 育	7.1	109	39.5	130	286	2.48	38.1	13.8	45.5
红 黄 泥	非 潜 育	16.0	105	35.7	123	280	5.7	37.5	12.8	43.9

有待进一步研究。

(二) 潜育性水稻土的供磷水平

1. 土壤磷素的释放速率和植株吸磷量。

土壤有效磷含量多少, 通常认为是土壤供磷水平的重要指标。在1981年的盆栽试验中, 测定了水稻各主要生育时期土壤有效磷含量。结果表明(图1), 无论何种母质上发育的潜育性水稻土, 土壤有效磷含量都比其相应的非潜育土低。若以各时期土壤有效磷的日平均数计, 冷浸渍泥田只为红黄泥的32%, 青紫潮泥为紫潮泥的54%, 青灰泥则为灰泥田的66%。同时各时期水稻植株的吸磷量在二种土壤上的趋势也一致(图2), 例如, 冷浸渍泥较红黄泥低63%, 青紫潮泥较紫潮泥低58.6%, 青灰泥较灰泥田低38.2%。(此测定值系由非潜育土与潜育土植株吸磷量三次取样测定值的平均数之差, 与潜育土植株吸磷量之比求得。)

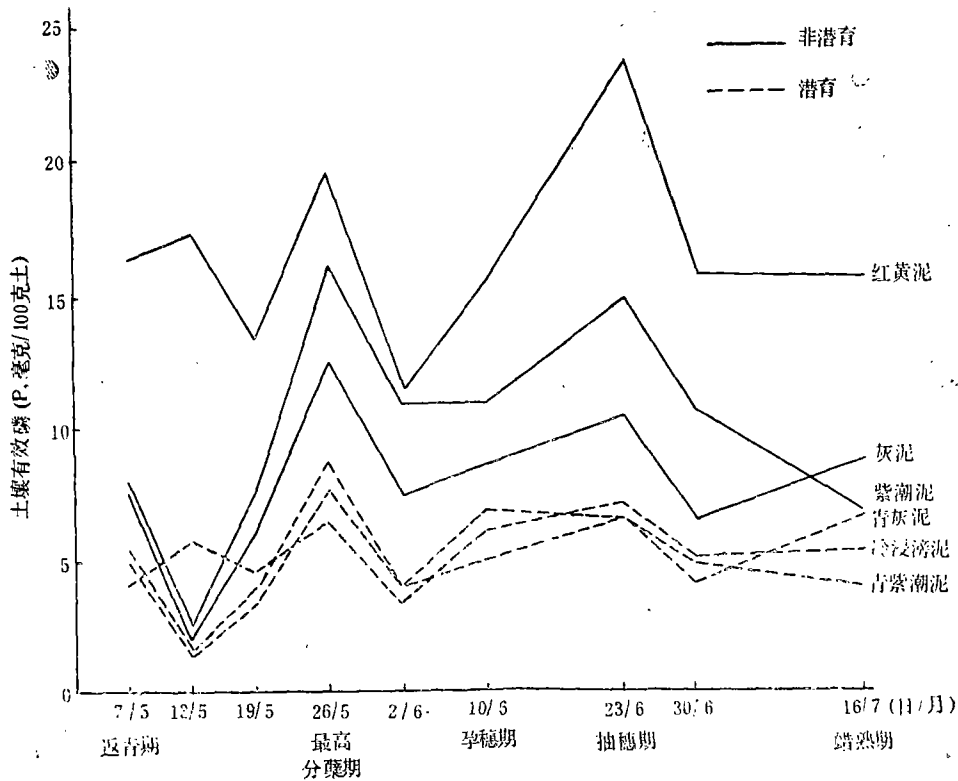


图1 土壤有效磷含量在植稻期间的变化

注 本图依据林金沐, 罗槐霖, 李源元三同志分析数据绘制。

为了进一步探讨潜育性土壤的供磷水平,作者应用阴离子交换树脂的方法^[4],按Cooke公试计算了土壤磷素释放速率常数R值,同时测定土壤有效磷和植株含磷量。结果表明:R值与土壤有效磷和植株含磷量比较一致。一般认为R值的大小。可以反映土壤供磷水平与作物吸磷间的动力学关系^[4]。从潜育性水稻土成因模拟试验池中采样分析结果(表5),可以看出潜育性水稻土的R值一般都比相对应的非潜育土小,说明潜育性水稻土的磷素饱和度较低。土壤对磷的亲和力较大,与此相应,对水稻植株的有效性也小。由此可以说明潜育性水稻土供磷能力较弱,供磷水平较低。显然,这是

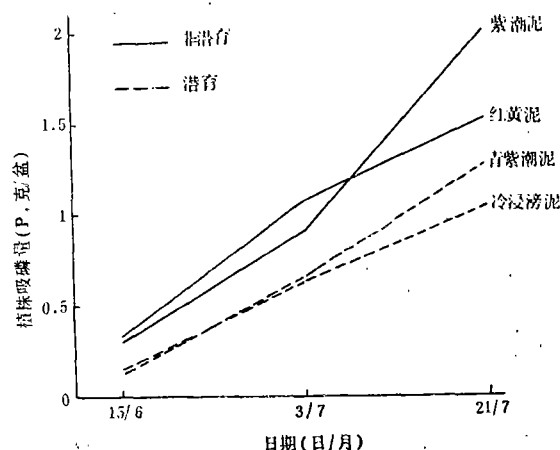


图2 不同土壤对水稻吸磷量的影响

表5 土壤磷素释放速率常数R值

潜 育 土					非 潜 育 土				
土 壤	释放时间 (分)	Cooke常数 R 值	有效磷 (P, ppm)	植株含磷量 (P, %)	土 壤	释放时间 (分)	Cooke常数 R 值	有效磷 (P, ppm)	植株含磷量 (P, %)
青紫泥田	30	0.210	9.1	—	紫泥田	30	1.032	21.0	—
	60	0.342				60	1.052		
	120	0.470				120	0.865		
	180	0.440				180	0.729		
青泥田	30	0.161	9.5	—	熟黄泥田	30	0.206	11.3	—
	60	0.371				60	0.516		
	120	0.274				120	0.377		
	180	0.205				180	0.288		
M ₁	30	0.840	20.0	0.496	M ₃	30	0.708	21.5	0.572
	60	0.562				60	0.759		
	120	0.761				120	0.742		
	180	0.504				180	0.615		
M ₄	30	0.046	10.3	0.412	M ₆	30	0.160	15.5	0.461
	60	—				60	0.245		
	120	0.127				120	0.263		
	180	0.145				180	0.242		
M ₇	30	0.210	15.1	0.455	M ₉	30	0.292	19.5	0.563
	60	0.207				60	0.207		
	120	0.253				120	0.306		
	180	0.207				180	0.259		
M ₁₆	30	0.274	16.0	0.305	M ₁₈	30	0.456	18.6	0.448
	60	0.234				60	0.291		
	120	0.302				120	0.268		
	180	0.266				180	0.249		

* M系潜育性水稻土模拟试验代号。M₁、M₄、M₇、M₁₆为稻—稻—冬泡。M₃、M₆、M₉、M₁₈为稻—稻—油菜。其中M₁与M₃、M₄与M₆、M₇与M₉、M₁₆与M₁₈地下水位和施肥处理相同。

影响植株磷素营养和限制水稻生长的重要因素。

2. 潜育性水稻土对磷肥的反应。

盆栽和大田试验均证明，潜育性水稻土增施磷肥，可以改善土壤供磷状况，具有一定的增产效果。例如1981年的盆栽试验，潜育性水稻土冷浸渍泥田增施磷肥后较对照增产20.7%，青紫潮泥增产19.7%(表6)。另外同年在常德县蒿子港公社青紫潮泥田施用磷肥的试验也表明，早稻施用过磷酸钙较对照增产15.6%。

表 6 施磷与作物产量和土壤供磷的关系

处 理	冷 浸 渍 泥			青 紫 潮 泥		
	供 磷 量 (毫克/100克土)	产 量 (克/盆)	增 产 (%)	供 磷 量 (毫克/100克土)	产 量 (克/盆)	增 产 (%)
对照(常量绿肥 + N)	0.59	24.2	—	0.58	28.9	—
常量绿肥 + N · P	1.10	29.2	20.7	1.04	34.6	19.7

注：土壤供磷量为各生育期土壤有效磷量的累积平均数

(三) 潜育性水稻土的磷酸吸持容量

土壤的磷酸吸持容量^[5]，实际是土壤对磷“固定”力大小的指标之一。它可以从另一方面反映土壤的供磷状况。现将同一母质下发育的潜育性土壤和非潜育土壤，在相同条件下进行土壤磷酸吸持容量的测定，结果绘于图3，从图3可以发现，潜育性水稻土的磷酸吸持容量都比非潜育土高。例如青夹泥比红黄泥高110毫克/100克土，青麻砂泥比麻沙泥高52毫克/100克土。

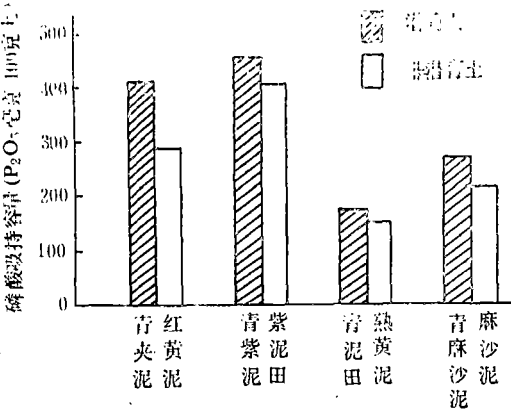


图 3 土壤对磷酸吸持量比较

施入土中的磷肥易与之结合，有效性降低。使磷肥的肥效难以发挥，在这类土壤上的作物也易缺磷。因此磷酸吸持容量可以作为磷肥施用量的参考。日本研究者曾提出在旱地土壤可以按

表 7 土壤的磷酸吸持容量无定形铁和粘粒含量

土 壤	青夹泥田	红黄泥田	青紫泥田	紫泥田	青泥田	熟黄泥田	青麻砂泥田	麻沙泥田
磷酸吸持容量(毫克/100克土)	409	299	452	415	172	149	267	215
潜育土比非潜育土	+110		+37		+23		+52	
无定形铁(毫克/100克土)	383	165	382	249	282	250	408	120
潜育土比非潜育土	+218		+133		+32		+278	
粘粒(小于0.001毫米)%	26.9	21.7	32.5	39.1	21.4	19.9	28.3	18.8
潜育土比非潜育土	+5.2		-6.6		+1.5		+9.5	

磷酸吸收系数的5—10%作为磷肥的适宜施用量。最近,福建农学院也提出按磷酸吸收系数的2.5—5%作为磷肥的适宜施用量^[6]。本试验中潜育性水稻土的磷酸吸持容量比非潜育土高,可以说明潜育性水稻土对磷肥的需要量也比非潜育水稻土多。

土壤粘粒含量测定的结果说明(表7),潜育性土小于0.001毫米粘粒的含量大多较非潜育土高。导致这一差异的原因,可能是由于潜育土在长期积水条件下,土粒分散,渗漏作用较弱,加以地下水的顶托,上层中粘粒的流失较少所致。土壤中无定形铁的含量与土壤磷酸吸持容量也有一定的关系^[7],一般认为土壤中无定形铁的含量高低也是影响土壤磷酸吸持力大小的重要因素。非潜育性土壤在排水落干后,无定性氧化铁的结晶化作用可以导致形成结晶态氧化铁。潜育性土,在长期渍水还原条件下有利于无定形氧化铁的形成,而无定形氧化铁对磷酸的吸持能力又比结晶态氧化铁强。因而一般可以认为潜育性土壤比非潜育性土壤对磷酸的吸持力强。

三、小 结

1. 潜育性水稻土全磷和有效磷的含量一般都较非潜育性水稻土低。在无机磷的形态、组成和含量上也有较大的差别,Fe-P和O-P的含量潜育性水稻土均低于非潜育性水稻土。非潜育土壤铁磷总量与土壤有效磷含量的相关性达到极显著水平,而与潜育性土壤的相关性不显著。

2. 潜育性水稻土的磷素饱和度较低,土壤对磷的亲合力较大,相应对水稻植株的有效性小,说明潜育土的供磷水平较低,这是影响水稻磷素营养,造成水稻低产的主要原因之一。

3. 潜育性土壤的磷酸吸持容量比非潜育土高,土壤对磷的固定力较大。造成潜育土对磷酸吸附固定力较大的主要原因是土壤中无定形铁含量较多。

4. 根据本试验研究,有理由认为潜育性土壤有效磷含量低的主要原因是土壤磷素的释放速率小而对磷素的吸附固定量大所造成的。同时,潜育土长期处于渍水的环境下,有效磷的流失也是重要的原因。

参 考 文 献

[1] 詹如坤:土壤磷素(一),土壤通报,第1期,43—47页,1980。

[2] 詹如坤:土壤磷素(二),土壤通报,第2期,47—49页,1980。

[3] 蒋柏藩: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—368页,1963。

[4] 段平初,蒋柏藩,詹如坤:土壤磷素释放速率的初步研究。土壤,14(3):89—92页,1982。

[5] 吉田益若(徐文征译):土壤磷酸吸持容量的测定方法和问题。国外农学—土壤肥料,增刊24—26页,1983。

[6] 刘淑欣,熊德中:福建省主要土类固磷强度的研究。福建农学院学报,2(1):21—32页,1983。

[7] S·Kuo等(张中流译):在淹水和非淹水土壤剖面中铁和磷的分布与磷吸附的关系。土壤译丛,第3期,58—65页,1980。