

塋土剖面供磷能力与磷肥的合理施用

李鼎新 汪美玲 曹美英

(中国科学院西北水土保持研究所)

塋土是我国主要的耕种土壤之一^[1],在黄土区的农业生产中占有极其重要的地位。塋土是在暖温带森林草原条件下,经人为耕耘熟化发育而成。剖面构型可区分为耕层、粘化层、钙积层和母质层四个大层段,其理化性质和生产性能差异较大,供磷强度和容量不同。过去的一些研究集中在耕层以上,很少涉及耕层以下土壤。由于水土流失及大面积土地平整,底层土壤出露地表,通常群众习称的“垆土”、“白垆土”和“黄垆土”就是这些层次的反映。近年来,随着农业向开放型转化,磷肥施用面积逐年扩大,但是磷肥增产效果不稳定,其中土壤条件的影响已成为该区农业生产急待解决的问题。

本文的目的是研究塋土剖面的供磷能力、影响因素及其生物效应,为改善土壤磷素营养,合理施用磷肥提供依据。

一、材料和方法

(一)供试土壤

土壤系采自杨陵区头道塬张家岗村附近的油塋土剖面,按照土壤发生层段,分别采集耕作层、粘化层、钙积层和母质层。这些土壤的化学性质见表1。

(二)研究方法

1. 盆栽试验。采用米氏盆钵,高25厘米,内径20厘米。将田间分层采回的土样,风干,过筛,每盆按干土重7公斤装入盆内。氮,钾肥作底肥。四个处理为:对照、施50、100和200毫克磷(P)/公斤土。施用方法是将磷酸二氢钾溶于水,用喷雾器喷入土壤,混匀,装入盆中,底层压实,按田间持水量的60%加水,静置半天后播种。供试作物为小麦,每盆留苗六株。

2. 测定方法。土壤有效磷采用Olsen法(0.5M NaHCO₃),植株全磷采用酸溶法,土壤无机磷分级采用经改进的张守敬—杰克逊法^[2]。

表1 塋土剖面各层次土壤化学性质

层 次	pH	有机质 (%)	全 氮 (%)	全 磷 (P ₂ O ₅ %)	碳酸钙 (%)	无 机 磷 组 成 (%)			
						Al—P	Fe—P	闭蓄态 P	Ca—P
耕 层	8.3	1.06	0.0936	0.144	6.40	8.0	0	15.7	61.8
粘化层	8.2	0.59	0.0650	0.093	0.49	1.6	2.7	33.1	50.8
钙积层	8.3	0.48	0.0453	0.0129	13.4	0.8	0	9.1	81.1
母质层	8.4	0.42	0.0392	0.140	10.8	3.2	0	11.4	72.6

二、结果和讨论

(一) 壤土剖面各层次土壤的固磷能力

土壤供磷能力和土壤固磷密切相关。土壤固磷能力是用固磷率(%)表示,其方法是用风干土10克,加入含磷(P)200ppm水溶液,在不同时间,用Olsen法测定溶液中有效磷,按下式计算土壤固磷百分率(%):

$$\text{固磷率}(\%) = \frac{(\text{加入量} + \text{原有量}) - \text{测出量}}{\text{加入量}} \times 100$$

测定结果表明,壤土具有一定的固磷能力。固磷速度较快,数量较大^[3],但是,不同层次土壤固磷强度不同。溶性磷盐施入土壤后,当时测定,粘化层固磷为31%,钙积层为27%,母质层为26%,耕层为24%;20天后,粘化层和钙积层分别为63%、62%,母质层为52%,耕层为50%;60天后,耕层约1/2以上的磷被土壤固定,粘化层和钙积层都比耕层大。

土壤固磷能力的强弱,反映出土壤供磷水平不同。我们对土壤吸附磷的解吸进行了一些研究。先称取风干土5克,按水土比为1:10依次加入50毫升含有5,30,50ppm磷(P)的0.01M CaCl₂溶液。在恒温条件下,每天振荡2次,每次30分钟,共6天,平衡后离心测定。测定结果见表2。

表2 磷处理土壤后解吸的磷量(P微克/克土)

土 层	浸溶液 浓度 (p,ppm)	土 壤 吸 磷 量 (P微克/ 克土)	水 洗 涤 磷 量 (振荡30分 钟,P微克/ 克土)	分 次 解 吸 磷 量				一 次 解 吸 磷 量		土壤残留 磷量* (P微克/ 克土)
				NaOAc (振荡2小 时)	NaHCO ₃ (振荡30分 钟)	合 计	占 吸 磷 的 %	NaHCO ₃	占 吸 磷 的 %	
耕 层	5	24.5	2.1	4.5	14.1	18.6	75.9	21.0	85.7	1.4
	30	268	29.4	32.2	106	133	49.5	164	61.2	74.4
	50	411	45.6	115	144	259	62.9	265	64.5	100
粘 化 层	5	25.0	0	4.1	3.3	7.4	29.6	8.1	32.4	16.9
	30	271	24.5	21.5	12.5	34.0	12.5	82.5	30.4	164
	50	418	46.0	30.8	16.3	47.0	11.4	128	30.6	244
钙 积 层	5	25.0	0	0	13.0	13.0	52.0	13.6	54.4	11.4
	30	291	15.3	13.4	124	137	47.0	186	63.7	90.1
	50	470	24.5	22.0	138	160	34.1	245	52.1	201
母 质 层	5	24.0	0	0	13.8	13.8	57.5	14.5	60.4	9.5
	30	279	14.0	16.3	103	119	42.5	158	56.7	107
	50	455	45.0	25.4	198	232	50.9	239	52.6	171

* 土壤残留磷量 = 土壤吸磷量 - (水洗涤磷量 + NaHCO₃一次解吸磷量)

从表2看出,土壤吸附磷的解吸和土壤性质密切相关^[4]。壤土剖面吸附磷的解吸量随浸溶液浓度的高低变化,浸溶液磷浓度高,吸附磷量增大,解吸量亦大,反之则低。但是,不同层次土壤间,各级吸附磷解吸量各异。如用水洗涤的磷量,耕层和粘化层近似,大于黄土母质和钙积层,采用中性的NaOAc处理,分别提取出土壤易解吸的磷,因为各层土壤均用水洗涤,故在总吸附磷量中所占比例减少,但不同土壤仍然存在明显的差异,耕层和粘化层中易解吸的磷量高,钙积层和母质层较低。说明钙积层、母质层除了吸附磷外,大部分是以化学沉淀的Ca—P形态为主。用NaHCO₃一次浸提的磷除易解吸的磷外,同时也包括化学沉淀的磷酸盐。用NaOAc和NaHCO₃先后两次浸提的磷量,耕层、钙积层和母质层均大于低钙的粘化层。NaHCO₃一次浸提磷量比用NaOAc和NaHCO₃先后两次浸提出的总磷还要高,显然,含钙高的耕层、钙积层和母质层与低钙的粘化层的吸附磷的性质不同。

鉴于上述分析,说明壤土对磷的吸附机制既有化学吸附,也有物理吸附。不同层次土壤解吸磷量的差别,决定于土壤化学吸附贡献的大小。从 NaHCO_3 解吸磷量的多少分析, NaHCO_3 解吸的量高,化学吸附起主导作用,但水的解吸量大, NaHCO_3 解吸量少,可能是物理吸附与化学吸附同时起主导作用。

(二) 溶性磷在土壤中的转化产物与有效性

1. 溶性磷盐在土壤中的转化产物。从表 3 看出,溶性磷在土壤中的转化产物随土壤性质不同差异较大。在富含钙的耕层、钙积层和母质层,大部分溶性磷转化为 Ca-P , Fe-P 检不

表3 磷盐各组分的组成同磷酸盐的用量与壤土剖面作用的时间关系

层次	肥力水平	处理	磷的组成 (按 张—杰 克逊 法)											
			3 天				60 天				360 天			
			I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
耕层	中	对照	10	23	0	403	4	13	0	405	3	11	0	402
		P_{50}	21 22	28 10	0	437 68	8 8	14 2	0	433 56	7 8	15 8	0	440 76
		P_{200}	105 47	43 10	0	448 23	37 17	30 4	0	522 64	30 14	32 11		556 77
粘化层	中	对照	0	痕	13	211	0	0	14	209	0	0	16	206
		P_{50}	5 10	18 34	25 24	225 28	0	14 28	28 28	232 46	0	12 24	32 32	228 44
		P_{200}	29 14	78 39	50 19	267 28	16 8	75 38	62 24	271 31	14 7	64 32	76 36	262 17
钙积层	中	对照	0	5	0	470	0	2	0	469	0	1	0	468
		P_{50}	8 16	10 10	0	503 66	8 16	5 6	0	501 64	6 12	5 8	0	508 80
		P_{200}	50 25	53 24	0	572 51	24 12	16 7	0	631 81	20 10	12 6	0	636 84
母质层	中	对照	2	25	0	455	8	10	0	456	痕	6	0	458
		P_{50}	16 28	42 34	0	473 38	12 8	35 50	0	473 42	10 18	25 38	0	478 46
		P_{200}	72 35	62 19	0	550 48	34 13	65 28	0	575 60	28 14	38 16	0	594 71
耕层	上	对照	20	64	0	563	—	—	—	—	20	53	0	560
		P_{50}	46 52	67 6	0	584 42	—	—	—	—	26 12	60 14	0	597 74
		P_{200}	140 60	77 7	0	630 34	—	—	—	—	72 26	80 14	0	681 61

注: (1) 表中 I 为水溶性磷, 用 $1\text{N NH}_4\text{Cl}$ 浸提, II 为 Al-P , 用 $0.5\text{N NH}_4\text{F}$ 浸提, III 为 Fe-P , 用 0.1N NaOH 浸提, IV 为 Ca-P , 用 $0.5\text{N H}_2\text{SO}_4$ 浸提。

(2) 分子为 P 的 ppm 数, 分母为占次生磷盐的 %。

(3) P_{50} , P_{200} 分别代表每公斤干土施 50, 200 毫克磷 (P) 的处理。

出,生成的 Al—P 很少。转化的Ca—P占次生磷盐的60%以上;在低钙的粘化层中,大部分溶性磷转化为Fe—P和Al—P,合计占次生磷盐的60%,但生成的Ca—P很少。

随着时间的增长,磷的转化产物发生变化,60天后,耕层、钙积层和母质层中的水溶磷和Al—P减少,但是仍维持相当的数量。在Al—P减少的同时,Ca—P增加,说明Al—P向Ca—P产物转化。钙积层中Ca—P的积累大于耕层,可能与耕层中的Ca⁺⁺被有机酸络合降低钙的活性有关。在粘化层中,水溶磷和Al—P减少,Fe—P显著增加,表明水溶磷和Al—P向难溶性的Fe—P转化。

一年后,耕层、钙积层和母质层中Ca—P还在缓慢的增加,尤以钙积层较为明显,生成的Ca—P占次生磷酸盐的80%;但在粘化层中,Ca—P和Al—P同时减少,Fe—P增加,表明Al—P和Ca—P渐向难溶性Fe—P转化。由此可知,活性大的Al—P是壤土磷素转化的中间产物。

在肥力水平较高的土壤上,大部分溶性磷转化为水溶磷和Al—P,合计占次生磷盐的60%,生成的Ca—P仅占30%,一年后,水溶磷和Al—P仍含相当数量,说明土壤肥力愈高,愈能提高土壤供磷能力,减少了磷的固定。

2. 磷素形态与有效磷的关系。磷素形态与有效磷密切相关。根据对20个土壤分析资料的统计,有效磷与Al—P、Ca—P呈正相关,相关系数分别为0.793**和0.668**,但与Fe—P呈负相关,相关系数为-0.558**。土壤中的Al—P和Ca—P含量愈高,土壤有效磷也高,反之则低。由此推知,壤土的耕层,有效磷较高,钙积层虽含Ca—P较高,但水溶磷和Al—P较低,有效磷也不高,粘化层中水溶磷,Al—P减少,Fe—P增高,土壤有效磷很低。

3. 磷素形态与施磷效应的关系。壤土中水溶磷、Al—P与施磷效应都呈负相关,相关系数分别为-0.811**和-0.780**(n=15),表明壤土中水溶磷和Al—P是作物的磷源;Fe—P与施磷效应呈正相关(r=0.695**, n=15),表明Fe—P不是作物的磷源。壤土中Ca—P和施磷效应的相关性不显著(r=0.123, n=15),表明土壤中Ca—P含量即使很高,但能被作物利用的Ca_{1,2}—P很低。当施入磷后,生成Ca—P,在初期有效性较高,随着时间的增长,Ca—P逐渐老化,溶解度降低。因此,在碱性条件下,它也不是作物的磷源。

4. 壤土剖面各层次土壤的供磷能力。植株吸磷量和土壤供磷水平密切相关。吸磷量按下式计算:

$$\text{植株吸磷率}(\%) = \frac{\text{不施磷地上部植株吸磷量}}{\text{施磷后地上部植株吸磷量}} \times 100$$

壤土面各层次土壤理化性状不同,显著地影响植株对磷的吸收(表4),吸磷量的大小依次为耕层>母质层>钙积层>粘化层。即是说植株的吸磷量在粘化层和钙积层中来自肥料磷。

磷肥利用率按下式计算:

$$\text{磷肥利用率}(\%) = \frac{\text{施磷植株的吸磷量} - \text{不施磷植株的吸磷量}}{\text{施入磷量}} \times 100$$

表4 壤土剖面各层次土壤对植株吸磷量和肥料利用率的影响

层 次	对 照 (P毫克/盆)	P ₅₀			P ₂₀₀		
		P毫克/盆	吸 磷 %	利用率(%)	P毫克/盆	吸 磷 %	利用率(%)
耕 层	22.8	130	17.5	30.6	297	7.6	19.5
粘 化 层	4.5	68	6.6	18.1	162	2.7	11.3
钙 积 层	4.1	42	9.7	10.8	215	1.9	15.1
母 质 层	14.4	113	12.7	28.2	234	6.1	15.7

注: P₅₀和P₂₀₀分别代表每公斤干土施用50、200毫克磷肥(P)。下表同。

壤土剖面各层次土壤磷肥利用率的大小依次为耕层>母质层>粘化层>钙积层(表4)。

5. 施磷对植物吸氮的影响。壤土剖面各层次土壤不仅影响植株对磷的吸收,而且也影响对氮的吸收(表5)。壤土各土层施磷后,与对照比,普遍促进植株对氮的吸收。并且与吸磷量一样,受土壤性质的影响。不同层次吸氮量的大小依次为耕层>母质层>钙积层>粘化层。

表5 施磷对植株吸氮的影响

层 次	对 照 (N毫克/盆)	P ₅₀		P ₂₀₀	
		N毫克/盆	吸氮%	N毫克/盆	吸氮%
耕 层	0.32	1.13	28.3	1.78	17.9
粘 化 层	0.06	0.63	9.5	1.14	5.2
钙 积 层	0.07	0.65	10.7	1.28	5.4
母 质 层	0.26	1.23	21.1	1.48	17.5

6. 壤土剖面各层次土壤供磷强度与磷肥的生物效应:

(1) 壤土剖面各层次土壤供磷强度不同。土壤中有有效磷含量不仅决定于各个形态磷之间的动态平衡,而且还受其他土壤因素的影响。测定结果表明,土壤有效磷与土壤全磷、有机质间呈正相关,相关系数分别为0.781**和0.922**(n=34),达极显著水平;与碳酸钙呈负相关,相关系数为-0.841**(n=32),也达极显著水平。

用 Olsen 法测定的土壤有效磷列于表6。从表6看出,壤土剖面各层次土壤有效磷的分布是表层高,底层高,中部出现低谷,构成高低高分布类型。根据对壤土磷素的研究^[5],耕层土壤有效磷还是低的。从土壤有效磷频率分布看出,大多数壤土样品(73%)的有效磷含量在2—12ppm之间,粘化层和钙积层分别为2.7和3.2ppm,母质层为6.5ppm。

表6 壤土剖面各层次土壤有效磷含量(P, ppm)

层 次	有效磷	连 续 测 定 土 壤 有 效 磷 含 量 (次)								第一次测定的有效磷占总有效磷的%	
		1	2	3	4	5	6	7	8		合计
耕 层	8.5	8.5	7.3	5.5	5.2	2.7	2.0	1.5	0	33.2	26
粘 化 层	2.7	2.7	1.7	1.6	1.0	0	—	—	—	7.1	38
钙 积 层	3.2	3.2	1.8	1.2	0	—	—	—	—	6.2	52
母 质 层	6.5	6.5	4.5	4.0	1.0	—	—	—	—	16.0	41

判断土壤磷素的供给,除了土壤供磷强度因素外,土壤活性磷库磷释放的容量也不应忽视,反映着土壤供磷潜力的高低。我们采用了 Olsen 方法进行连续浸提土壤有效磷。测定结果(表6)表明,土壤活性磷库磷释放的容量是表层高,向下减少,到底层又增高,与有效磷在剖面中的分布一致。

土壤活性磷库磷释放的容量和土壤肥力密切相关。低肥力土壤,磷释放的容量小于30ppm,中肥力土壤,磷释放的容量在30—100ppm,高肥力土壤则大于100ppm。统计结果表明,壤土剖面各层次土壤活性磷库磷释放的容量与一次浸提的量呈正相关,相关系数为0.732**(n=15),达极显著水平。采用连续浸提测定土壤活性磷库释放的容量与无机磷中的Ca_{1,2}-P、Al-P的含量也呈正相关,相关系数为0.750**(n=15),达极显著水平。

(2) 壤土剖面各层次土壤上磷肥的生物效应。供试土壤有效磷低于临界值,施磷效应十

表7

壤土剖面施入磷盐的生物效应(克/盆)

层 次	次 数	作 物	处 理						
			对 照	P ₆₀	比 值	P ₁₀₀	比 值	P ₂₀₀	比 值
耕 层	1	玉 米	41.5	76.2	1.84	—	—	—	—
	2		53.4	114	2.14	—	—	—	—
	3		29.3	38.7	1.32	—	—	—	—
	4		19.0	64	3.36	65.3	3.43	71.7	3.77
粘 化 层	1	玉 米	3.9	41.8	10.7	—	—	—	—
	4		3.5	27.7	7.63	—	—	34	9.62
钙 积 层	1	玉 米	4.1	42.5	10.37	—	—	—	—
	4		4.1	32.0	7.88	—	—	46	11.2
母 质 层	1	玉 米	7.5	47.5	6.33	—	—	—	—
	4		14	47.0	3.44	—	—	56	4.1
耕 层	4	小 麦	18	39	2.17	43	2.5	52	7.8 ⁹
粘 化 层	4		4	30	7.69	41	10.25	45	11.53
钙 积 层	4		5	—	—	36	7.35	118	9.8
母 质 层	4		12	29	2.42	46	3.83	49	4.0

注: P₅₀, P₁₀₀, P₂₀₀分别代表每公斤干土施入50毫克,100毫克和200毫克磷(P)。

分显著(表7)。壤土剖面的粘化层和钙积层,土壤有效磷为2.2—3.5ppm,土壤严重缺磷。单施氮肥。作物生长矮小,发育不良。如在第四次盆栽中,不施磷的粘化层和钙积层玉米植株干物重为耕层的18—21%,为母质层的25—29%,当施入磷后,玉米植株重量显著增加,较对照增加7—11倍,接近和超过耕层对照的处理。耕层和母质层施磷处理的,干物重增重较明显,但增重比值低于粘化层和钙积层,耕层低于母质层。另外,小麦试验也获得相似的结果。由此可见,壤土剖面各层土壤对磷的供给和生物效应产生显著的影响。

三、小 结

1. 壤土剖面各层次土壤,因土壤理化性状和生产性能不同,不仅影响植株对磷的吸收,也影响对氮的吸收。

2. 壤土剖面各层次土壤施磷效应不同。粘化层和钙积层单施氮和磷,增产效果不显著,植株矮小,干物重接近耕层的对照处理,施磷后,干物重增加7—11倍,增重比值大,耕层和母质层增重比值小。

3. 根据壤土吸磷快,数量大及扩散移动范围小的特点^①,磷肥应适当多施,并且作基肥或追肥集中施在根系附近约2—3厘米处,粘化层和钙积层更应如此。

4. 粘化层,钙积层和母质层为生土层,土壤不仅缺磷,同时又缺氮,单施磷肥效果不显著,从生物试验可以看出,氮磷配合生物效应优于单施效果,并且能够满足植株体内的氮、磷平衡,并能提高肥料利用率。

5. 粘化层和钙积层,土壤理化性状不良,生产性能低劣,为从根本上改善土壤性状,培肥地力,应配合施用有机肥料,以提高土壤生产力。

参 考 文 献

(1) 朱显谟: 壤土。农业出版社, 1964。

(下转第112页)

① 西北水保所同位素室: 磷在土壤中扩散移动, 1975(资料)。

了讨论。土壤物理学近年来在国外发展很快,八十年代已出了不少专著和论述。但这门学科在我国的起步较晚,专业队伍小,发展也不快。近年来,随着我国经济建设的不断发展,加强土壤物理学,特别是现代土壤物理学的知识以及和其他学科的相互渗透就显得愈加重要。与会代表都希望进一步加强各单位间的经常联系、互通情报、交流经验,并编写一部较为统一的土壤物理性质研究和测定法。为此,土壤物理专业委员会讨论,建议由浙江农业大学土壤化学系试办不定期的“土壤物理通讯”,报道国内有关单位与土壤物理研究有关的各项研究近况。首先沟通国内消息,然后逐步扩大到与国外同行联系。耿庆文教授对此深表关心,表示今后向“土壤物理通讯”提供国外研究动态。还建议中国科学院南京土壤研究所土壤物理室在1978年出版的“土壤物理性质测定法”的基础上,进一步修改、补充和完善内容,从速再版。专业委员会还建议今后多开小型的专题讨论会。

土壤结构研讨会已经结束,但土壤结构问题的研究却远没有结束。无论对这个领域的理论研究,还是土壤管理中产生的大量应用研究都需进一步发展。正如Cooke (1979)指出,“如欲保持增产,则需考虑植物养分的适量供应与土壤物理条件之间的相互作用”。但是至今“我们还无法了解和确定土壤结构,并通过耕作对它控制;无法定量确定其对养

分和水分供应的影响程度,成为通常不能获得禾谷类作物持续高产的一个重要因子”〔8〕。土壤物理研究的前途更为宽广,只要我们齐心协力,结合学科发展和生产的需要,持之以恒,定会取得丰硕的成果。在国家建设和发展学科中作出应有的贡献。

参 考 文 献

- 〔1〕 Качинский Н. А. Физика почв, Ч.1, М., Изд-во «высшая школа», 1965.
- 〔2〕 Bayer, L. D., W. H. Gardner and W. R. Gardner, Soil Physics, 4th Edition, John Wiley and Sons, New York, 1972.
- 〔3〕 Marshall, T. J. and J. W. Holmes. Soil Physics, Cambridge University Press, 1979.
- 〔4〕 Hillel, D., Introduction to Soil Physics, Academic Press, New York, 1982.
- 〔5〕 De Boodt, M., Soil Structure-Principal factors in soil structure formation, Lecture notes in College on Soil Physics, Trieste, Italy, 1983.
- 〔6〕 Harris, W. L. et al., Dynamic of soil aggregation, Adv. Agron, 18:107-169, 1966.
- 〔7〕 Hallsworth, E. G., Theory of soil conditioning, 3rd International Symposium of soil conditioning, 3-11, 1976.
- 〔8〕 Greenland, D. J., Soil management and soil degradation, Journal of Soil Science, 32:301-322, 1981.
- 〔9〕 Hayes, M. H. B., On interdisciplinary cooperation..... Bulletin of ISSS, 1:28-29, 1983.
- 〔10〕 姚贤良, 赵渭生, 于德芬, 许绣云, 高产水稻土结构特征的初步研究. 土壤学报, 15:1-12, 1978.

(上接第67页)

- 〔2〕 中国土壤学会农业化学专业委员会: 土壤农业化学常规分析方法. 104—107页, 科学出版社, 1983.
- 〔3〕 李祖荫, 石灰性土壤中碳酸钙在固磷中的地位. 西北农学院学报, 第2期, 29—35页, 1981.
- 〔4〕 李鼎新, 陕西土壤磷素状况和磷肥有效施用的研究. 中国科学院西北水保所集刊, 第二集, 81—90页, 1985.
- 〔5〕 李鼎新, 关中壤土磷素状况及影响磷有效性因子的分析. 土壤通报, 第6期, 1—4页, 1980.