

长期施用磷肥条件下潮土中磷素的积累、形态转化和有效性

顾益初 钦绳武

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要

在5年田间定位肥料试验的基础上,通过每年对土壤全磷、速效磷、无机磷形态分级测定和植株含磷量分析,探讨了在长期施磷条件下,潮土中磷素的积累、形态转化以及合理的氮磷肥配比和磷肥的利用率等问题。

关键词 潮土; 磷素; 形态转化

在黄淮海地区的潮土中,虽然土壤全磷含量较高,但有效磷在大部分地区呈亏缺状态。在这些地区,土壤缺磷已成为作物产量的限制因素。随着磷肥的推广施用,土壤缺磷程度虽有所改善,但是,在连年施用磷肥条件下,对土壤磷素的积累情况、磷素在土壤中的形态转化及其有效性,目前研究较少。作者从1989年开始,在中国科学院封丘农业生态实验站布置了田间长期定位试验,在此基础上,本文对上述问题进行了研究和探讨。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤基本农化性质

供试土壤为轻壤质黄潮土(两合土),试验前连续进行了3年匀地,即连年种植作物,不施任何肥料。到1989年秋正式布置试验,此时土壤养分已非常贫乏,其土壤农化性状见表1。

表1 供试土壤基本农化性质

有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	全 K (g/kg)	速效 N (mg/kg)	有效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	缓效 K (mg/kg)	pH
5.83	0.445	0.498	18.6	9.51	1.93	78.8	558.0	8.65

1.2 供试土壤磷素养分状况

在试验布置前对供试土壤进行了无机磷形态分级测定(表2),所得结果再和蒋柏藩等^[1]发表的北方16种石灰性土壤无机磷存在形态相比较,发现土壤中作为作物一级有效磷源的 Ca_2 -P(磷酸二钙型)和缓效磷源的 Ca_8 -P(磷酸八钙型)、Al-P(磷酸铝型)和Fe-P(磷酸铁型)含量都低于北方16种土壤的平均值。有机磷含量也很少,而在短期内不可能被作物利用的O-P(闭蓄态磷)和 Ca_{10} -P(磷灰石)却占无机磷总量的85%以上,说明此时的土壤供磷能力已相当微弱。

表2 供试土壤磷素养分状况 (P, mg/kg)

全磷	有机磷	无 机 磷					Ca ₁₀ -P	总量
		Ca ₂ -P	Ca ₈ -P	Al-P	Fe-P	O-P		
497.8	58.7	2.08	27.4	12.1	15.9	40.1	336.9	435.2

1.3 试验设计

试验设7个处理，4次重复，分4个区组随机排列。7个处理为NPK、NP、1/2OM+1/2NPK(1/2有机肥+1/2化肥)、OM(有机肥)、PK、NK、CK(对照、不施肥)。化肥品种N肥为尿素，P肥为过磷酸钙，K肥为硫酸钾。肥料用量见表3。试验田肥料用量与当地现时大田施肥量相比属中上水平。小区面积为47.5m²，试验采用小麦—玉米一年两熟轮作。作物收获后测定籽粒和茎秆养分含量，每年玉米收获后测定土壤有效磷和无机磷形态分级。

表3 试验田肥料用量 (kg/亩)

作物	肥料	氮肥 (N)	磷肥 (P ₂ O ₅)	钾肥 (K ₂ O)
小麦	基肥	6	5	10
	追肥	4	0	0
玉米	基肥	4	4	10
	追肥	6	0	0

1.4 分析方法

土壤农化基本性质按《土壤农业化学常规分析法》⁽²⁾进行；土壤无机磷分级采用顾益初、蒋柏藩的《石灰性土壤无机磷分级的测定方法》⁽³⁾；植物全磷用H₂SO₄-H₂O₂消化，钼锑抗比色法。

2 结果与讨论

2.1 土壤有效磷的变化

有效磷含量是土壤供磷能力的重要指标，它的动态变化除了受土壤自身的理化性质和自然因素等影响以外，而更重要的是与磷肥的用量和作物吸磷量有很大关系。表4是每年土壤有效磷分析结果，从中可以看出，在NPK处理中，也就是在当地这样一种中上水平的施肥

表4 土壤有效磷分析结果 (P, mg/kg)

年 份	处 理						
	1/2OM+1/2NPK	OM	NPK	NK	NP	PK	CK
1989(原始土)							1.93
1990	4.50	6.86	3.43	1.95	3.06	4.11	1.92
1991	5.16	10.7	3.43	1.46	3.25	6.43	1.49
1992	4.78	7.49	3.45	1.47	3.55	8.16	1.34
1993	4.34	6.64	3.30	1.54	3.63	8.96	1.44
1994	3.81	6.21	3.17	1.32	2.90	10.3	1.26

条件下，试验第一年有效磷很快从1.93mg/kg增加到3.43mg/kg，但之后几年中有效磷一直保持在3-3.5mg/kg之间，说明在当前这样一种施肥条件下，土壤有效磷只能在低水平上保持相对平衡，只有增加磷肥的投入，才能进一步提高土壤有效磷的含量。另外如果化肥和有机肥配合施用(1/2NPK+1/2OM)或大量施用有机肥(OM)则可较快增加土壤有效磷含量。在PK处理中，由于作物生长很差，五年间共施入肥料P₂O₅45kg/亩，此时作物地上部分从土壤中累计带走的P₂O₅为11.3kg/亩，大部分磷将残留在土壤中，其中有相当

部分仍以有效状态存在,使土壤有效磷由原来的 1.93mg/kg, 5年后提高到 10.3mg/kg, 这说明磷肥在土壤中的固定不能象过去那样看得特别严重。综上所述,要提高土壤有效磷,主要靠两种措施,一是增加化学磷肥用量,而更经济有效的办法是化肥和有机肥配合施用。

2.2 土壤无机磷形态的动态变化

在试验过程中,每年玉米收获后,对各处理土壤进行无机磷形态分级测定,现把部分结果列于表 5。结果表明,不施肥的对照处理经五年后,其各级形态无机磷的含量与 1989 年的本底土壤无明显差异,而无 N 区(PK)处理,由于作物产量很低,被吸收取走的磷量当然很少,表 5 和图 1 都显示了五年后残留在土壤中的肥料磷主要还是以 Ca_2 -P 和 Ca_8 -P 的形态存在,使这两种形态无机磷比对照(CK)分别增加将近 6 倍和 2.5 倍,再从绝对量来看,以 Ca_8 -P 增加幅度最大,说明磷肥施入土壤以后,在相当长的时间里主要是向 Ca_8 -P 转化,这和以前的结果^[4]是相一致的,另外,Al-P 和 Fe-P 也有不同程度的积累,有少量的磷甚至向 O-P 转化。但 Ca_{10} -P 没有明显的变化,说明作为作物迟效磷源的磷灰石矿物,在相当长的时间内是不可能被作物吸收利用的,而施入土壤的磷肥也不可能在短期内转化成磷灰石。

表 5 试验五年后土壤无机磷形态的变化 (P mg/kg)

年份	处理	无机磷						总量	全磷
		Ca_2 -P	Ca_8 -P	Al-P	Fe-P	O-P	Ca_{10} -P		
1989	原始土	2.08	27.4	12.1	15.9	40.1	336.9	434.1	498.0
1994	CK	1.86	24.8	9.08	13.5	35.7	336.3	421.4	485.8
	NP	2.55	50.8	18.7	22.2	49.3	336.3	479.8	544.0
	NK	1.82	26.2	9.74	13.9	36.1	318.3	406.1	492.0
	PK	10.9	60.4	21.8	37.3	47.3	337.7	515.5	576.1
	NPK	2.76	53.2	20.6	22.4	46.5	337.7	483.2	547.3
	OM	4.85	45.1	14.9	18.9	45.7	332.7	472.5	544.3

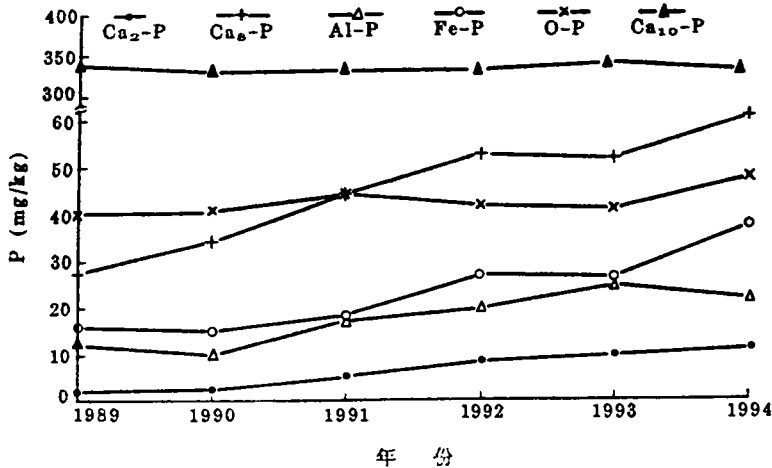


图 1 PK 处理区磷肥在土壤中的形态变化

2.3 氮磷肥的配合施用

根据植物营养学的原理,作物所需的各种营养元素是同等重要和不可代替的。由于供试

土壤同时缺氮和缺磷,而钾素目前还并不缺乏,所以氮磷肥配合是潮土合理施肥的重要原则。从对1990—1994年五年平均产量(kg/亩)结果来看,无N区和无P区小麦产量分别为74.2和49.5,玉米为79.0和64.8。而NPK处理的小麦与玉米产量分别为331.6和486.5kg/亩,因此氮磷肥的交互增产作用是非常明显的。另从对试验小麦、玉米的籽粒和茎秆含磷量的化学分析结果看(表6),无N区(PK)的植株含磷量远高于NPK区。经计算在NPK处理中,每吸收1kg P能生产小麦347.7kg或玉米335.0kg,而在无N区处理中分别为175.5和105.3kg,大量的磷肥被作物奢侈吸收,积压在籽粒和茎秆中,因此在施肥技术上,应根据作物的需要,各营养元素按合理的配比进行施肥是非常重要的。潮土有效磷含量较低,因此在当前的施肥条件下,还可增加磷肥的比重。

表6 PK与NPK处理植株含磷量和产量对比 (5年试验平均值)

处理	小 麦				玉 米			
	籽 粒		茎 秆		籽 粒		茎 秆	
	含磷量 (P%)	产量 (kg/亩)	含磷量 (P%)	产量 (kg/亩)	含磷量 (P%)	产量 (kg/亩)	含磷量 (P%)	产量 (kg/亩)
PK	0.401	63.8	0.118	91.2	0.313	67.9	0.175	246.8
NPK	0.258	285.1	0.0235	356.3	0.236	418.4	0.0595	454.3

2.4 磷肥的利用率

近年来的研究表明,磷肥施入土壤后,除了被当季作物吸收利用外,对以后几季作物也有较好的后效,因此,计算磷肥的利用率,应该将当季利用率和后效一起计算。本试验连续10季施用磷肥的NPK处理中,作物不仅吸收了当季施入的肥料中的磷,而且还吸收了以前磷肥残留在土壤中的磷。根据1990—1994年10季作物地上部分吸磷量计算结果,小麦和玉米的磷肥利用率分别为31.9%和58.7%,总利用率为43.8%。可以看出,磷素在土壤中有积累,全磷含量也有所增加(表5)。

理论研究认为磷肥施入土壤后,作物吸收的磷源并不一定是磷肥原来的化合形态,而大部分是与土壤反应的产物。因此,磷肥的有效性往往决定于磷肥与土壤反应产物的有效性。在石灰性土壤中,水溶性磷肥的转化主要受土壤中的钙离子控制,可以形成磷酸二钙($\text{Ca}_2\text{-P}$)、磷酸八钙($\text{Ca}_8\text{-P}$)、磷灰石($\text{Ca}_{10}\text{-P}$)等,同时由于石灰性土壤中铁、铝的存在,所以也有可能形成少量的磷酸铁、铝(Fe-P 、 Al-P)。过去的研究资料^[4]认为水溶性磷肥施入土壤后,首先形成的是 $\text{Ca}_2\text{-P}$,虽然它是作物最有效的磷源,但大约经过一个生长季节,大部分便向其它磷酸盐转化。因此, $\text{Ca}_2\text{-P}$ 只能是当季作物的速效磷源,而作为二级有效磷源的 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Fe-P 和 Al-P 则相对较稳定,它们是作物的缓效磷源。从表5的无机磷分级结果来看,磷肥施入土壤以后,除了被当季作物利用外,大部分以缓效形态储存于土壤磷库中,可以被后季作物所利用,从而大大提高了磷肥的利用率。

3 小 结

1、在目前的施肥水平下,潮土的有效磷量只能在低水平下保持相对平衡,要提高土壤有效磷含量,一是靠增加磷肥用量,二是增加有机肥的投入。

2、施入潮土中的水溶性磷肥在短期内(约一个生长季节)主要向 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 转化,继而再向

