

磷肥在土壤中的转化及其与土壤有效磷的关系

顾永明 汪寅虎

(上海市农科院土壤肥料研究所)

自从张守敬和 Jackson (1957年)提出土壤无机磷分级方法以来,国内外许多土壤农业化学家对土壤有效磷与各级无机磷之间的关系^[1],作物吸磷状况与土壤无机磷组成的相关性^[2],水稻生长期间土壤有效磷增加的机理^[3],以及磷肥对土壤无机磷组成的影响和转化等方面作了广泛的研究^[4]。Singhania 和 Goswami (1977)发现,在印度的黑土,红壤,冲积土和砖红壤中,不论土壤磷素原来的组成如何,或者是否种植作物,施入的水溶性磷肥渍水后,大部分都转化成 Fe-P 和 Al-P。最初形成的 Al-P 随着时间的推移再转化成 Fe-P^[5]。张守敬等的试验证明,无论在酸性土壤,中性土壤或碱性土壤上,施入的水溶性磷 3 天后大部分转变成 Al-P, 100 天以后 Al-P 减少, Fe-P 增加,而 Ca-P 则没有变化^[6]。虽然前人曾就有机肥施入土壤后对增加土壤有效磷的作用和机理方面作过研究,但对有机肥和有机肥与磷结合施用,在淹水种稻后对土壤有效磷和无机磷组成的影响方面却很少有人报道。

本文拟对上海郊区部分缺磷土壤经不同处理,特别是用有机肥,有机肥结合磷肥处理后,对土壤无机磷组成变化的影响,有机肥中磷素的转化以及对作物的影响等方面作一初步探讨,以便为这类土壤的水稻合理施肥提供依据。

材 料 和 方 法

供试土壤有效磷含量较低的青紫泥,前茬为绿肥,取土深度为 15 厘米,经风干,剔除根茬和杂质,过 2 厘米筛孔,作盆栽用土,土壤的基本性质:有机质 3.70% (重铬酸钾—硫酸法),全氮 0.215% (开氏法),全磷 (P_2O_5) 0.148% (酸溶比色法),水解氮 10.0 毫克/100 克土 (1.2 N NaOH 扩散法),有效磷 (P_2O_5) 18.4 ppm (Olsen 法),速效钾 (K_2O) 133 ppm (1N 醋酸铵法),代换量 18.9 毫克当量/100 克土 (1N 醋酸铵—EDTA 快速法),pH 7.1 (电极法)。

盆栽试验处理:(1)不施肥,(2)每盆 140 克猪粪,(3)每盆 3.73 克普钙,(4)每盆 140 克猪粪 + 3.73 克普钙,(5)每盆 140 克猪粪 + 5.6 克碳铵,(6)每盆 140 克猪粪 + 3.73 克普钙 + 56 克碳铵。每处理重复 3 次。猪粪养分含量,全氮 3.40%,全磷 (P_2O_5) 2.75%,全钾 (K_2O) 2.20%,均以干物质计。

盆钵规格为 25 × 30 厘米 (直径 × 高),每盆装土 28 市斤,先以 18 市斤作底土,用水湿透,再以 10 市斤土按处理与肥料混合后作基全肥装盆,灌水,使表土以上保持 3 厘米水层。每盆种稻 4 穴,每穴 4 株,品种为原丰早。2 月 14 日播种,3 月 14 日移栽,6 月 14 日收获。

为了观察土壤有效磷和无机磷组成的变化,在水稻生长期间采土样 4 次,用 Olsen 法测定土壤有效磷,用张守敬、Jackson 法测定是土壤无机磷组成。植株收获后用硫酸—过氧化氢消化,分别用开氏法和比色法测定谷粒和稻草的全氮和全磷。

结果和讨论

一、有机肥和磷肥在土壤中的转化

土壤水溶性磷的动态变化见图1。单施磷肥处理的水溶性磷的峰值(42ppm)在水稻移栽后2周左右(3月29日)出现。以后下降直至收获。有机肥加磷和有机肥加氮、磷两处理的水溶性磷的变化基本相似,只是后者在整个水稻生育期都低于前者。与单施磷肥处理的相比,峰值出现的时间较晚(移栽后一个月左右)。

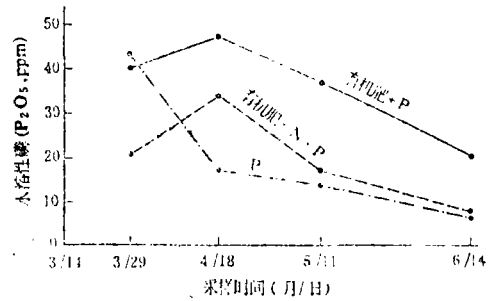


图1 早稻移栽后土壤水溶性磷的变化

不施肥和有机肥处理的 Al-P, Fe-P 的动态变化见图2。淹水后1至2周,不施肥区 Al-P 略有增加,以后呈下降趋势。下降的幅度从占无机磷总量的5.6到2.8%。Fe-P 的变化与 Al-P 相反,持续增加,达到总量的1.4%左右。有机肥处理的 Al-P 和 Fe-P 从淹水植稻到4月18日,先以不同的比例同步增加,移栽一个月以后 Al-P 减少,并直至收获。Fe-P 则持续增加。图2中不施肥和施有机肥的 Al-P 和 Fe-P 间的阴影部份似可认为是有机肥对 Al-P 和 Fe-P 的贡献。图2还表明了上述2个处理

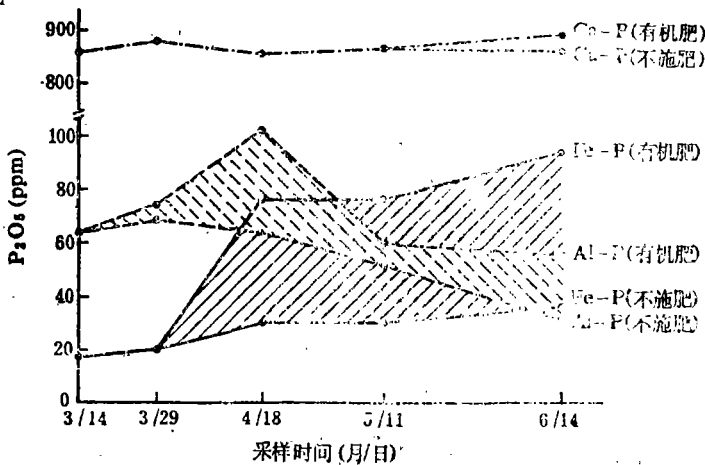


图2 不施肥和有机肥处理的土壤 Al-P、Fe-P 和 Ca-P 的变化

(与Y轴相交的点代表基础土壤的含量,以下均同。)

的 Ca-P 则始终没有很明显的变化。由此可以认为,有机肥施入土壤后,磷最初向磷酸铝转化,随着时间的推移,进入 Al-P 向 Fe-P 的转化阶段。

单施磷肥和有机肥加磷肥的无机磷组成的变化见图3。单施磷肥的在2周内 Al-P 增加的幅度较大,而 Fe-P 增加的比例相对较小。但2周后 Al-P 呈直线衰减,直至收获,而 Fe-P 则不断增加,这一时期磷肥主要是向磷酸铁转化。

有机肥加磷肥处理的磷素转化状况和单施磷肥的大体一致,仅在转化成磷酸铁和磷酸铝的比例上有所不同。其在早稻移栽后一个月左右, Al-P 持续上升,并达到峰值。比单施磷肥的峰值出现时间推迟了20天左右。以后逐渐下降,直到收获。且 Al-P 的数量始终大于单施

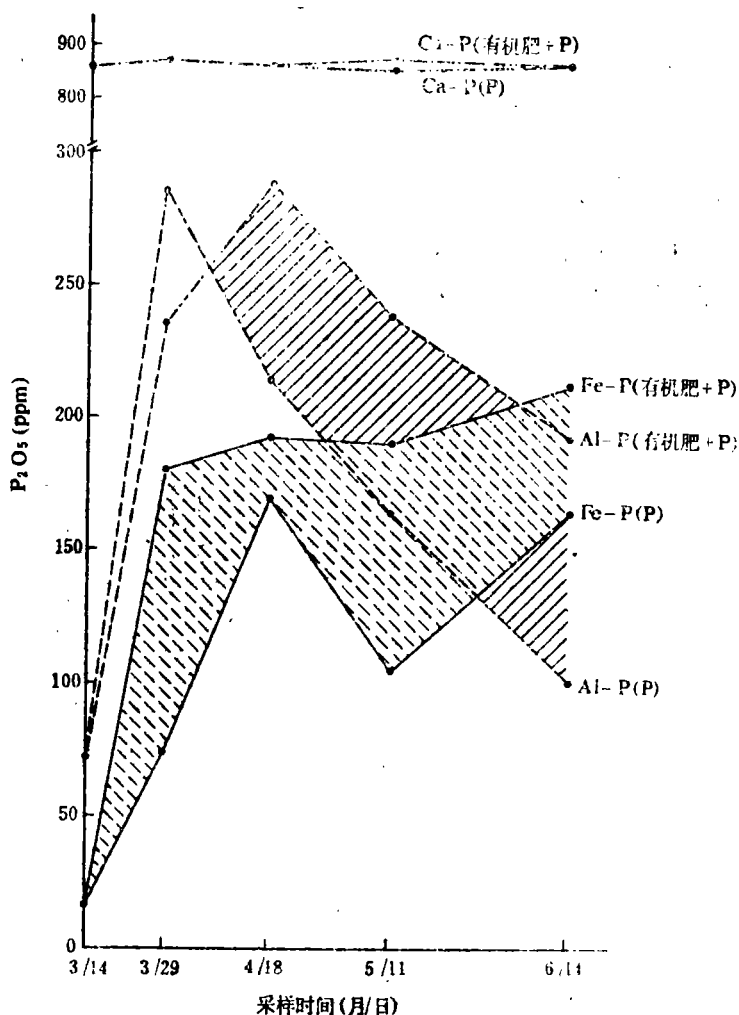


图3 单施磷肥和有机肥加磷肥的土壤Al-P、Fe-P和Ca-P的动态变化

磷肥的。施有机肥的磷酸铁转化趋势和单施磷肥的相似,以移栽至收获Fe-P的数量不断增加,并且前者数量始终大于后者。Ca-P变化状况与前图基本相似。

有机肥加氮和有机肥加氮、磷的各级无机磷的变化状况见图4。在有适量氮素供给的条件下,早稻生长旺盛,干物质累积量较大,从土壤中吸收有效磷的数量比氮素供应不足的要大得多。因此,对土壤无机磷组成的变化影响较大。从图4两个处理表明,Ca-P、Al-P、Fe-P的变化方向与前四个处理基本相似,不同的是有机肥加氮、磷处理,在早稻移栽两星期以后开始由上升转为逐渐下降和变化幅度比单施磷肥和有机肥加磷的小,两个处理间Al-P和Fe-P的阴影部分可能是施入磷肥的作用。

二、不同施肥处理对土壤有效磷的影响

Olsen法测定的磷作为旱作土壤(中性和石灰性土壤)磷的有效度指标已得到广泛的好评,在国际水稻研究所和许多东南亚国家也将它作为水稻土有效磷的指标使用[5, 6]。我们采用此法对早稻整个生育期各处理的土壤有效磷进行了测定,结果绘于图5。Olsen法提取的磷在淹水2周和1个月左右,无肥区的分别比基础土壤的含量增加14和16ppm,这可能是由于

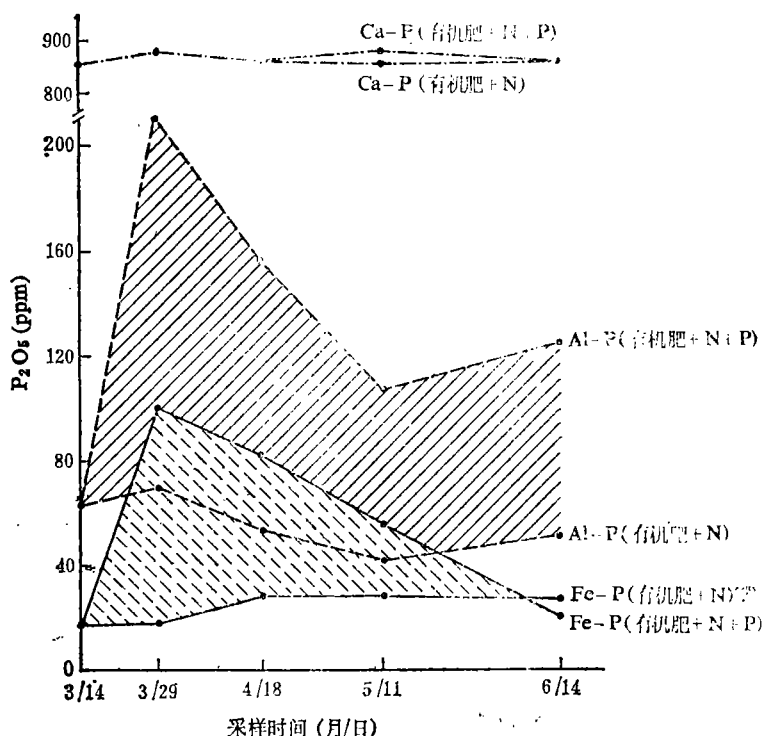


图4 有机肥加氮和有机肥加氮磷的土壤Al-P、Fe-P和Ca-P的动态变化

土壤淹水的增磷效果。以后下降直至收获。有机肥和有机肥加氮处理的有效磷峰值出现在早稻移栽后一个月左右,以后降低直至收获。如果把这二个处理的有效磷量减去不施肥的差值作为有机肥对土壤有效磷的贡献,则这二者在早稻整个生育期的有效磷量分别比不施肥的增加2~35ppm和6~26ppm,明显提高了有效磷的供应水平。这可能与有机肥的矿化过程有关。由于有机肥在分解过程中增强了土壤的还原势,促进磷酸高铁向磷酸亚铁转化,以及其产生的有机酸类对磷酸盐中金属离子的络合作用所致〔7〕。图5同时表明单施磷肥,有机肥加磷和有机肥加氮、磷三个处理的土壤有效磷含量,后两者在移栽后一个月左右均明显高于前者,增加的量在8~38ppm。从5月11日至收获,有机肥加磷处理的Olsen法可提取磷量大于纯磷处理,而有机肥加氮、磷处理的反而低于单施磷肥的,这可能是由于在适量的供氮条件下,促进了作物同化更多土壤有效磷的缘故。

三、Olsen 法可提取磷与无机磷组成的关系

Olsen法可提取磷与Al-P、Fe-P和Ca-P的相关分析表明,Olsen-P和Al-P、Fe-P呈显著正相关,相关系数R分别为0.812**($n=25$)和0.738**($n=25$),但Olsen-P和Ca-P则无相关性,即表明Olsen法可提取磷的形态主要是活性的Al-P和Fe-P。从进一步的复相关也得到了证明,复相关系数 $R=0.829^{**}(n=25)$,达到极显著水平。这与过去的一些工作结果相一致。

四、不同肥料处理对早稻的影响

表1表明,不同肥料处理的早稻吸收氮磷比例在1:0.45到1:0.47之间,没有明显的差异,

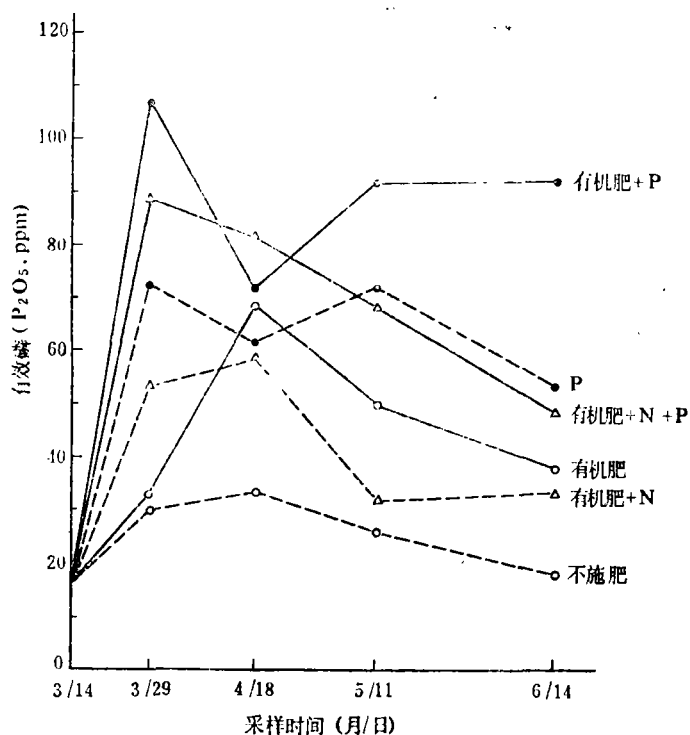


图5 不同处理的土壤有效磷的动态变化

说明作物干物质累积时按比例吸收氮和磷素,并且比较稳定。同时表明,不同处理对早稻干物质累积和氮、磷养分吸收总量的影响较大。早稻干物质累积和养分吸收总量主要依赖于氮素的供应。在氮素供应不足的情况下,磷肥不能发挥出明显的增产效应。据此可以认为土壤有效磷在15ppm (P_2O_5)左右,施用一定数量的有机肥基本能满足水稻对磷的需求。加施磷肥并不能提高早稻产量和磷肥的利用率,而只能增加土壤磷库的贮备。因此,我们认为从经济合理用肥的角度来考虑,在早稻上可以不施或少施磷肥。

结 论

1. 盆栽试验各处理在水稻生长期间,土壤各级无机磷总的变化趋势一致。开始 Al-P 增加的比例较大,尔后逐渐减少直至收获。Fe-P 则呈持续增加的趋势。但 Al-P 和 Fe-P 两者的增减幅度差别较大。Ca-P 无明显变化。

2. 施入的有机肥中的磷素,一开始向 Al-P 和 Fe-P 转化,持续一个月后 Al-P 逐渐下降,而 Fe-P 增加,并直至收获。同时有机肥还具有延缓供磷高峰出现的时间,并在水稻整个生育期都保持较高的供磷水平。

3. Olsen-P 和 Al-P, Fe-P 有显著的正相关,Al-P 的相关系数大于 Fe-P。因此,可以认为 Olsen 法可提取磷的形态主要是 Al-P 和 Fe-P。

4. 有效磷为 15ppm (P_2O_5) 左右的土

表1 不同处理对早稻干重和氮磷吸收的影响

处 理	谷粒干重 (克/盆)	稻草干重 (克/盆)	吸氮总量 (N毫克/盆)	吸磷总量 (P_2O_5 毫克/盆)	N : P
不施肥	19.8	22.8	437	198	1:0.45
有机肥	36.7	29.9	617	296	1:0.47
P	24.0	24.7	430	204	1:0.47
有机肥 + P	37.2	30.4	648	307	1:0.47
有机肥 + N	49.1	43.5	936	433	1:0.46
有机肥 + N + P	48.2	42.2	854	386	1:0.45

壤,在适宜的氮素用量下,使用有机肥特别是腐熟程度较高的有机肥,能满足早稻生长对磷素的需求。在此基础上增施磷肥并不能提高作物的产量和磷肥的利用率。从经济合理的施肥角度考虑,可以少施或不施磷肥。

参 考 文 献

- [1] 蒋柏藩, 磷肥在土壤中的形态转化及有效性。土壤学进展, 9(2):1—11, 1981。
- [2] 傅绍清、宋金玉, 土壤有效磷的测定方法及其与磷素形态关系的研究。土壤学报19(3):305—310, 1982。
- [3] 傅明华、承友松, 上海土壤磷素状况的研究。土壤学报, 16(4):372—379, 1979。
- [4] 周鸣铮, 关于水稻土壤养料肥力的某些研究论述(下)。土壤学进展, 5—6:11—22, 1980。
- [5] 国外农学—水稻编辑部(译文选集), 土壤与水稻, 243—265, 282—301, 浙江科学出版社, 1981。
- [6] 张守敬, 水稻土中磷的有效性及其测定。土壤, 14(4):152—154, 1982。
- [7] De Datta, S.K., Principles and practices of rice production, John Wiley & Sons, 123—127, 1981。

《土壤地球化学的进展和应用》一书出版

由中国科学院南京土壤研究所龚子同等编著的《土壤地球化学的进展和应用》一书, 现已由科学出版社出版, 即将由新华书店发行。

本文集系中国科学院南京土壤研究所土壤地球化学方面近年来的集体研究成果。书中介绍了当前土壤地球化学的发展趋势, 科学成果及现阶段的任务; 汇集了应用地球化学方法进行区域性土壤, 特别是热带、亚热带土壤研究的内容、方法和技术等方面的科学资料; 提出了土壤地球化学分类、制图和区划等问题。内容比较丰富。可供农、林、地学、生态环境和医学等有关工作者参考。

《土壤》1986年征订启事

《土壤》期刊由中国科学院南京土壤研究所主办。本刊主要刊登土壤学学术论著及各领域的科研成果、介绍土壤学研究的新手段和新方法、普及土壤学知识、并提供国内外土壤科学信息。

本刊为双月刊, 全年出版6期, 16开本, 每期56页, 定价0.45元。欲订阅者, 可向当地邮局预订。本刊代号28—21, 可以破季订购。本编辑部不办理发行业务。

《土壤》编辑部