

红壤的磷肥有效性差异及其土壤化学特点的初步研究

廖宗文¹ 林东教¹ 王建林²

(1 华南农业大学国土资源与环境科学系, 广州, 510642; 2 中国科学院南京土壤研究所)

摘要 用发育于玄武岩和花岗岩的红壤及其水稻土作水稻盆栽试验研究红壤的磷肥有效性差异及其土壤化学特点。试验表明, 花岗岩发育的红壤及其水田的磷肥有效性与 Fe、Al 有关, 而玄武岩发育者, 不仅与 Fe、Al, 而且还与 Mn 有密切关系。对土壤-植物系统中磷肥有效性与 Fe、Mn 元素相互作用及其机理进行了讨论。

关键词 红壤; 磷肥有效性; Fe; Mn; Al

中图分类号 S158.3

红壤是我国重要的土壤资源, 其磷肥有效性低, 一直是限制该地区生产力的重要障碍之一。国内外研究通常认为, 红壤磷肥有效性低的主要原因为 Fe、Al 对有效磷的固定。但各地红壤磷肥有效性程度不一, 有的相差极悬殊。我们多年来对雷州半岛徐闻、海康和遂溪等县农村及国营农场调查中发现, 该地区玄武岩发育砖红壤的磷肥有效性极低。即使土壤有效磷达到丰富标准, 也仍然要施用比其他地区红壤高得多的磷肥, 而且连年施用。这一问题在该地区甘蔗、水稻和橡胶等主要作物反映尤为明显。这种不同地区红壤磷肥有效性的巨大差异的原因, 仍不清楚。

雷州半岛是我省最大的玄武岩发育的砖红壤地区, 是重要的热作及甘蔗基地, 深入研究该地区磷肥有效性特别低的原因, 不仅是一个生产上迫切需要解决的重大问题, 而且对于全面认识红壤磷肥有效性的土壤化学机制和红壤肥力特点也有重要的理论意义。

本试验选取海康县玄武岩发育的砖红壤及其水田和广州石牌花岗岩发育的赤红壤及其水田进行水稻盆栽试验, 对不同地区的红壤磷肥有效性的差异进行横向比较, 对同一地区相同母质发育的红壤旱地和水田进行纵向比较, 在此基础上探讨红壤磷肥有效性的差异与土壤化学特点的关系。

1 材料与amp;方法

供试土壤取自广州石牌和海康, 分别为花岗岩发育的赤红壤及其水稻土和玄武岩发育的砖红壤及其水稻土。其基本性质如表 1 所示。两地不同母质发育的红壤及其水田的 Fe、Mn 数量及比例有明显的不同。

4 种土壤施肥量均一致, N、P、K 的施量分别为 50、100、100 mg/kg, 以尿素、磷酸二氢钾和氯化钾作基肥一次施下与土壤混匀。每种土壤均重复 3 次。水稻品种为桂朝, 种子催芽后植于盆内, 每盆 10 株。常规管理。2 个月后收获称重。土壤用草酸铵抽提, 所得抽提液用 ICP 测定活性 Fe、Al、Mn、Si, 碳酸氢钠法浸提, 钼锑抗比色法测定有效磷; 用醋酸铵

1995-03-31 收稿

表1 四种土壤的基本化学性质

g·kg⁻¹

| 土壤 | 有机质 | pH | 速效 P (H ₂ O) /mg·kg ⁻¹ | 全量 | | 活性 | | | | | 代换性 Ca /cmol(0.5Ca)·kg ⁻¹ |
|--------|------|-----|---|--------------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|---|
| | | | | Fe ₂ O ₃ | MnO | Fe | Mn | Al | Si | Mn/Fe | |
| 赤红壤 | 5.0 | 5.0 | 4.8 | 36.0 | 0.07 | 1.63 | 痕迹 | 1.16 | 0.278 | 0 | 2.4 |
| 赤红壤水稻土 | 26.0 | 5.4 | 13.4 | 21.7 | 0.25 | 1.32 | 0.003 | 1.18 | 0.282 | 0.2 | 3.3 |
| 砖红壤 | 16.0 | 5.5 | 4.6 | 173.6 | 2.14 | 3.08 | 1.011 | 1.94 | 0.979 | 32.8 | 5.6 |
| 砖红壤水稻土 | 35.0 | 5.7 | 10.2 | 168.7 | 1.29 | 15.72 | 0.540 | 1.36 | 1.710 | 3.4 | 13.3 |

交换淋洗,原子吸收光谱法测定代换性 Ca。收获稻株用三酸消化,所得消化液以 ICP 法测 Fe, Al, Mn, Si, Ca, P(中科院南京土壤所, 1980)。

2 结果与分析

2.1 土壤磷及 Fe, Mn, Al, Si, Ca 的含量

4 种土壤的磷及 Fe, Mn, Al, Si, Ca 等元素含量如表 1 所示。从表 1 可知, 4 种土壤的 pH 差别不大, 赤红壤组土壤 pH 略低。两种旱地有效磷相近, 均明显低于两种水田, 不及它们的一半。代换性 Ca 及有效 Si 均以砖红壤组土壤为高, 达数倍之多。同一组土壤中, 水田的 Si, Ca 均高于相应旱地, 以砖红壤水田最明显。砖红壤及其水田活性 Al 高于花岗岩发育者, 但差异不到 1 倍, 为各元素变幅之最低者。

在各种土壤中, Fe, Mn 的变幅最大, 以 Mn 更为明显。砖红壤组土壤 Fe, Mn 全量和有效量均高于赤红壤组土壤。就全量而言, 砖红壤组 Fe 为赤红壤组的 5 倍多, 砖红壤组 Mn 为赤红壤组的 5 倍至 30 倍。就有效量而言, 砖红壤组土壤 Fe 数倍至 10 多倍于赤红壤组, 而其 Mn 则数百倍甚至千倍于赤红壤组, 变幅之大, 远远超过 Fe 及其他元素。与赤红壤组相比, 砖红壤组不仅活性 Fe, Mn 高, 而且其 Mn/Fe 达 10 倍之高。

2.2 各处理水稻磷及 Fe, Mn, Si, Al, Ca 含量

各土壤的水稻生物量及稻株元素含量如图 1 所示。4 种土壤中, 2 种水稻土的水稻生长较好, 生物量明显高于相应的红壤。两种土壤的生物量相差不大, 在 2.2 ~ 2.3 g/盆之间。而赤红壤水稻土的水稻生物量最高, 达 7.2 g/盆, 为砖红壤水稻土处理的 1.5 倍。水稻的生物量差异与稻株磷营养有密切关系。两种红壤的有效磷含量均为 0.916 g·kg⁻¹, 与两者生物量要相近甚为一致。两种水稻土的稻株含磷量相差达 2 倍多一点, 而相应的生物量也达 1.5 倍。可见, 稻株磷营养对水稻生长有重要影响。在各元素中, 以 Fe, Mn 与磷营养关系尤为密切。

分析结果表明, 四种土壤的稻株 Si, Ca 的含量差异甚少。赤红壤、赤红壤水稻土、砖红壤、砖红壤水稻土的稻株含 Si 依次为 9.3%,

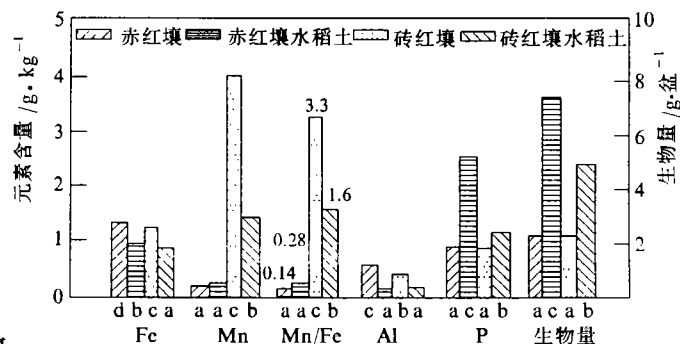


图1 各处理的水稻磷及 Fe, Mn, Al 元素含量、Mn/Fe 及生物量图下的 abcd 字母为统计分析符号, 有相同字母的直方图差异不显著

10.3%,10.1%, 10.4%, 含Ca依次为0.35%,0.41%,0.40%,0.40%。其变幅少于15%,与稻株磷含量关系并不大。四种土壤稻株含Al量差异明显高于Si,Ca(图1),但这种变化与稻株磷的变化却没有一致的规律。如两种水田稻株的Al差异不大,而磷的差异达1倍多,而且含Al略高的稻株含磷反而高。稻株含Fe为 $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 左右,变幅达50%左右。稻株Mn含量高者约为 $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,低者不足 $0.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,相差近20倍,为稻株各元素中含量变幅最大者。砖红壤组稻株Mn含量数倍于赤红壤组稻株,而Fe含量略低于赤红壤组稻株。由图1可知,砖红壤组稻株Mn/Fe大大高于赤红壤组稻株。这一结果提示,砖红壤组的稻株磷含量较低,还可能与Mn过量有关。

3 讨论

3.1 水稻磷营养与土壤-作物系统中元素的相互作用

根据上述土壤和植株的分析结果(表1和图1),可以看出,水稻磷营养不仅取决于土壤有效磷高低,而且在相当程度上取决于土壤-植物系统中有关元素的相互作用。稻株磷含量高低与土壤有效磷高低有关,但无明显的比例关系。例如,砖红壤水田与赤红壤水田的有效磷分别为 10.2 和 $13.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,相差约30%,但相应稻株磷含量分别为0.25%和0.12%,相差达1倍多。这说明土壤有效磷与稻株磷营养并非简单的相关,而是同时受到有关的其他元素的影响。通常红壤中,Fe,Al对磷的固定作用是主要原因。但本试验结果显示,仅此二元素仍难以解释上述差别。首先,Fe,Al在土壤高低变化与磷在稻株中的高低变化并无一致规律。例如,砖红壤活性Fe含量约为赤红壤的2倍,而两者稻株磷含量却无差别。砖红壤水稻土的活性Fe为砖红壤的5倍,但前者的稻株磷却比后者高20%。土壤Al的含量变化与稻株磷含量也没有一致的规律。另一方面,土壤Fe,Al与稻株Fe,Al含量并不一致,甚至相反。例如砖红壤组土壤活性Fe明显高于赤红壤组,最大者达10倍以上,但其稻株Fe均低于赤红壤组的相应稻株。尤为突出的是,活性Fe含量最高的砖红壤水稻土的稻株Fe却是最低的。土壤与稻株中的Al含量的相互关系也与Fe类似,活性Al含量最高的赤红壤,其稻株含Al量却最低。

在各元素中,只有Mn在土壤和稻株的含量呈现高低一致的明显规律,而且同时与稻株磷也呈现密切关系。四种土壤中,活性Mn的高低顺序与稻株Mn高低顺序完全一致。赤红壤外的三种土壤中,土壤Mn及稻株Mn与稻株磷呈反相关规律,Mn高者则稻株磷低。赤红壤活性Mn低至痕迹,是一特殊例子,对此已有专文从Fe,Mn相互作用角度讨论(Liao,1994)。

据上述分析可见,在红壤中,影响水稻磷营养的元素除了Fe,Al外,Mn的作用也必须考虑。玄武岩发育的砖红壤及其水田,活性Mn含量很高,Mn的重要性尤需予以足够的注意。对于Fe,Al,Mn等对水稻营养有重要影响的元素来说,不宜孤立地分析其中某一元素与水稻磷的关系。全面分析Fe,Al,Mn与水稻磷营养的关系,才能发现其中的规律性。在土壤-植物系统中,水稻磷营养与各种元素的相互作用有关,但不同的红壤中,起主要作用的元素有不同程度的差别。本试验中花岗岩发育的赤红壤,Fe,Al含量在土壤和稻株中均较高,对磷的固定有较大的抑制作用(表1,图1)。而在玄武岩发育的砖红壤中,Fe,Al和Mn在土壤及植株中的含量均较高,尤其是Mn在植株中明显超过了Fe和Al,对磷营养的影响不容低估。Fe,Mn是一对拮抗元素,两者相互作用对水稻生长有重要影响(Liao,1994),它们与磷营养的关系,有待深入研究。

与 Fe, Al, Mn 等抑制磷有效性的元素相反, Si 对 P 有效性有促进作用, 且对 Fe, Al, Mn 有一定抑制作用, 更能促使土壤磷活化, 在酸性土壤中, Ca 对 Fe, Al, Mn 也有抑制作用, 因而在一定范围内对磷活化有一定促进作用。

综上所述, 红壤磷的有效性, 一方面受 Fe, Mn, Al 的抑制, 另一方面, Si 和 Ca 可在在一定程度上抵消这种作用。本试验砖红壤水稻土活性 Fe, Mn 很高, 而稻株磷并未按比例降低, 仍维持一定水平, 这与土壤中有活性 Si, Ca 均最高有重要关系。砖红壤中高量 Si, Ca 对 Fe, Mn 的抑制作用表现在相应稻株的 Fe, Mn 较低(表 1 和图 1)。由此可知, 水稻磷营养不仅与土壤有效磷有关, 而且还与土壤-植物系统中上述有关元素的相互作用有关。

3.2 红壤母岩的某些土壤化学特点与水稻磷营养

供试的两组红壤及其水田的母质分别为花岗岩及玄武岩。对水稻磷营养有重要影响的 Fe, Mn, Al 和 Si, Ca 两组元素, 均受母质的深刻影响。不仅旱地如此, 而且经历了长期水耕熟化的水田, 仍继承成土母质的原有特点。例如, 玄武岩发育的砖红壤水田, 其 Fe, Mn, Si, Ca, Al 均明显高于花岗岩组土壤。对磷肥有效性有抑制作用的 Fe, Mn, Al 元素中, 以活性 Mn 在两组不同母岩发育的土壤中的差别最大, 达数百倍, 活性 Fe 次之, 达 10 多倍, 而活性 Al 最少, 差别不及 1 倍。看来, 玄武岩母质水田的磷肥有效性低于花岗岩母质的主要因素与 Mn 和 Fe 有关。对 Fe, Mn 有抑制作用的 Si 和 Ca, 在玄武岩母质中高于花岗岩母质, 但幅度在 10 倍以内, 远不及 Fe, Mn。因此, 玄武岩母质的水田是以 Fe, Mn 起主导作用。另一方面, 玄武岩母质 Fe, Mn 全量高, 经历长期水耕后仍有很高的活性 Fe, Mn, 尤其是活性 Fe 反而升高。因此, 玄武岩母质的水田磷肥的有效性明显低于花岗岩母质水田。

通常玄武岩母质的全磷高于花岗岩母质, 但有效磷却不及后者(广东省土壤普查办 1993)。这与前者含有高量的 Fe, Mn 对磷的吸附及固定有关。雷州半岛地区常常发现, 即使玄武岩发育的红壤有效磷高于其他母岩发育的红壤, 仍需施用较多的磷肥才能维持作物一定的磷营养水平。这种化学有效性与生物有效性不一致的原因, 可能与高量的 Fe, Mn 造成的对磷吸收的障碍有关。

在三要素中, 磷是唯一的阴离子养分, 其有效性受到土壤 Fe, Al, Mn 的强烈影响, 与 Si, Ca 也有一定关系。这是磷与 N, K 营养的重要区别。在研究红壤磷肥有效性时, 应该注意全面分析土壤 Fe, Al, Mn 和 Si, Ca 两方面的影响。在雷州半岛这一玄武岩母质大面积分布的地区, 上述分析尤显必要。

3.3 关于 Fe, Mn 影响红壤磷肥有效性的机制

对土壤和稻株的分析表明, 红壤磷肥有效性的差异与 Fe, Mn 有密切关系。那么, Fe, Mn 如何影响红壤磷肥有效性? Fe 对磷肥的固定作用是一个重要原因, 已有不少论述(袁可能, 1983)。而 Fe, Mn 对土壤磷扩散速度的影响则是另一重要的原因。磷肥有效性既与磷的固定这一静态因素有关, 同时又与磷的扩散这一动态因素有关。土壤中磷的扩散速度远低于 NH_4^+ 和 K^+ , 在红壤中尤其慢, 2 周才移动 28 mm(于天仁, 1983)。磷的扩散速度过低, 可能在根际形成明显的亏缺区而影响作物对磷的吸收。此时, 即使非根际区有效磷较高, 在一定程度上也会缺磷。砖红壤发育的红壤磷肥化学有效性与生物有效性不一致, 看来与该土壤磷肥扩散受 Fe, Mn 阻滞有关。因为化学有效性的测定未能反映动态因素, 而生物有效性则与动态因素有相当密切关系。对此深入研究需要进行根际化学分析和磷肥扩散速度的比较。对红壤及其水稻土的水稻根际研究显示, 两类土壤 Fe, Mn 的根际分布有明显差别, 在根表 1 mm 处的富集或亏缺特别明显(Liao, 1993)。若能同时结合磷的根际分析, 将会进

一步推进 Fe, Mn 与磷的相互作用的认识。

最近研究表明,水稻的根表 Fe 膜在一定条件下对磷的吸收有重要促进作用(张西科, 1994)。但不同土壤的根膜中 Fe, Mn 数量及比例的差异对磷的吸收有何影响,尚不清楚。这也是与磷肥有效性相关的根际研究内容,有待今后进一步开展研究。

参 考 文 献

- 于天仁. 1983. 水稻土的物理化学. 北京: 科学出版社, 272 ~ 276
- 广东省土壤普查办. 1993. 广东土壤. 北京: 科学出版社, 105 ~ 126
- 中国科学院南京土壤研究所. 1980. 土壤理化分析. 上海: 上海科技出版社, 283 ~ 286, 360 ~ 361
- 袁可能. 1983. 植物营养元素的土壤化学. 北京: 科学出版社, 110 ~ 165
- 张西科. 1994. 稻根 Fe 膜对不同基因型水稻 P, Zn 营养的影响 [学位论文]. 北京: 北京农业大学土化系
- Liao Zhongwen. 1993. Si, Fe and Mn distributions in rice rhizosphere of red earths and paddy soils. *Pedosphere*, 3(1): 1 ~ 6
- Liao Zhongwen, Lin Dongjiao, Wen Zhiping. 1994. Influence of Fe Mn counteraction of rice orange physiological disease. *Pedosphere*, 4(2): 119 ~ 126

A PRELIMINARY STUDY ON THE DIFFERENCE OF P FERTILIZER AVAILABILITY IN RED EARTHS AND RELATIVE CHARACTERISTICS OF SOIL CHEMISTRY

Liao Zhongwen¹ Lin Dongjiao¹ Wang Jianlin²

(1 Dept. of Land Resources and Environment Science, South China Agr. Univ., Guangzhou, 510642; 2 Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Abstract

Rice pot experiment was conducted with red earths and their paddys derived from granite and basalt to study the differences in their P fertilizer availability and soil chemistry characteristics. It was found that for the red earth and its paddy soil derived from granite, the P availability was mainly related to Fe and Al while for those from basalt the P availability was related to not only Fe and Al, but also Mn. The mechanism of P fertilizer availability in red earths affected by Fe and Mn in the soil-plant system was discussed.

Key words aluminium; manganese; iron; phosphorous fertilizer availability; red earths