

木质素对土壤磷素形态转化及对磷有效性的影响

陈 倩, 穆环珍, 黄衍初, 杨问波

(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘 要: 利用木质素改性磷肥对石灰性土壤和红壤进行培养实验, 通过有效磷及无机磷分级测定, 研究了木质素对土壤有效磷及磷素形态转化的影响。结果表明, 木质素能提高土壤有效磷的含量, 并能促进无机磷向有效磷源形态转化, 对提高磷肥的利用率有重要意义。

关键词: 木质素; 磷素形态; 有效磷; 无机磷分级

中图分类号: S131 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 – 2043(2003)06 – 0745 – 04

Influence of Lignin on Transformation of Phosphorus Fractions and Its Validity

CHEN Qian, MU Huan-zhen, HUANG Yan-chu, YANG Wen-bo

(Research Center for Eco – Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: The present study is carried in a laboratory on calcareous soils and red soils receiving phosphoric fertilizers modified by lignin. By testing the content of available phosphorus and fractionation of inorganic phosphorus, the result showed that the content of available phosphorus was enhanced and the transformations of available fraction from inorganic phosphorus was advanced in the presence of lignin. This result may be suggested that lignin be regarded as an effective modifier to improve the availability of phosphate fertilizer.

Keywords: lignin; fraction of phosphorus; available phosphorus; fractionation of inorganic phosphorus

我国大面积农田土壤缺磷, 但磷肥的利用率却远远低于氮、钾肥料, 磷肥的当季利用率大多数在 10% ~ 25% 左右^[1]。换句话说, 施入土壤的磷肥约 75% 以上的磷素不能被当季作物利用。据计算, 从 1949 年到 1992 年间, 我国累计施入农田的磷肥有 7 880.9 万 t (P_2O_5), 不能直接为植物利用的大约 6 000 万 t (P_2O_5), 其中相当部分积累在土壤中, 不仅形成大量的资源浪费, 而且增加了土壤磷流失的可能性, 造成了现实的和潜在的生态环境危害。

磷肥施入土壤后由于土壤与其发生一系列化学、生物化学及其他作用, 肥料中的磷可由原来的形态转化为其他各种形态。因此, 磷肥形态转化与磷素利用率已经成为土壤肥料与生态环境研究者十分关注的问题, 磷的形态与有效性的关系成为研究热点。已有研究表明, 经木质素改性的肥料能提高土壤中磷的有效性^[2]。本研究目的是通过对磷肥施入土壤后磷的形态转化, 探求木质素对磷有效性影响的机制, 促进木

质素这一天然有机物在肥料领域的应用, 减少过量施用磷肥造成的生态环境影响。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

木质素(碱法草浆黑液回收, 有机质 $\geq 95\%$);

磷酸二铵(N 18%, P_2O_5 46%);

木质素磷肥(木质素与磷酸二铵按一定比例复配而成)。

1.2 供试土壤

石灰性土壤, 北京顺义地区;

酸性红壤, 湖北荆州。

土壤理化性质如表 1。

1.3 试验方案

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of the tested soils

土壤名称	pH [*]	水分 /%	全氮 /%	全磷 /%	P_2O_5 速效磷 /mg · kg ⁻¹	P_2O_5 速效钾 /mg · kg ⁻¹	K ₂ O 有机质 /%
石灰性土壤	7.7	2.00	0.086	0.21	69	290	1.52
红壤	5.5	1.28	0.045	0.11	29	140	1.15

注: pH 测定的水土比例为 1:5。

收稿日期: 2002 – 12 – 02

作者简介: 陈 倩(1977—), 女, 硕士生, 研究方向为废水与固体废弃物资源化综合利用。E – mail: peacechen_7@163.com

供试土壤经风干磨碎后过 40 目筛, 按石灰性土壤和红壤两个系列进行室内土壤培养实验。每一系列设计两种处理, 即①为普通肥料处理, 加磷酸二铵 900 mg; ②施与①等 P_2O_5 量的木质素磷酸二铵处理。每一种处理 15 次重复, 每个样品土壤量为 80 g, 按田间持水量的 75% 调配土样水分, 土壤与肥料经混合匀化, 分别装入塑料容器中, 于室温下培养。试验期间模拟自然条件下土壤干湿状态, 每间隔一定时间补充等量水一次, 使土壤保持干湿交替状态。定期抽样分析其有效磷变化同时进行无机磷分级。

1.4 分析方法

土壤有效磷测定, 采用钼锑抗分光光度法^[3]; 土壤无机磷形态分析, 采用土壤无机磷分级法^[3,41]。

2 试验结果与分析

2.1 土壤中有效磷的变化

通过对 1、3、6、9、15……100 d 的红壤和石灰性土壤样品进行有效磷分析, 以有效磷占土壤总磷量的百分数与时间为坐标分别绘制出石灰性土壤与红壤中有效磷随时间变化的曲线, 结果如图 1、图 2。从图中可以看出, 施加木质素处理肥料的土壤中有效磷明显高于普通肥料处理的土壤。在整个实验周期内, 石灰性土壤中施木质素肥料处理有效磷占土壤总磷量的平均值为 34.9%, 普通肥料处理有效磷占土壤总磷量的平均值为 29.8%, 平均提高 5.1%; 红壤中木质素处理的有效磷占土壤总磷量的平均值为 32.8%, 普通肥料处理为 30.3%, 平均提高 2.5%。比较图 1、图 2 曲线还可以看出, 木质素对石灰性潮土中有效磷的影响比红壤大。试验开始的一个月中木质素处理的样品对土壤有效磷提高幅度最大, 两种土壤有效磷达到最高值的时间都是试验开始的 2 周之后, 可见木质素对磷有效性增加的作用效果最佳期在施入土壤后的 1 个月内。培养后期有效磷曲线趋于平缓, 整个实验过程中经木质素处理的土壤有效磷含量均高于施用普通肥料处理的土壤, 可见木质素能有效减少土壤对磷的固定。

2.2 土壤中磷素形态转化

2.2.1 木质素对石灰性土壤中磷形态转化的影响

根据蒋柏藩等人提出的“石灰性土壤无机磷分级测定方法”^[41], 将石灰性土壤中的磷分为 Ca_2-P 、 Ca_8-P 、 $Al-P$ 、 $Fe-P$ 、 $O-P$ 、 $Ca_{10}-P$ 等 6 种形态, 本实验分别于土壤培养的第 1、25、50、100 d 取样分析土壤中各种形态磷的含量变化, 结果如图 3、4 所示。

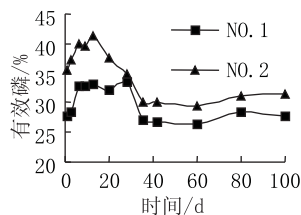


图 1 木质素对石灰性土壤磷有效性的影响

Figure 1 Effects of lignin on the availability of phosphorus in calcareous soil

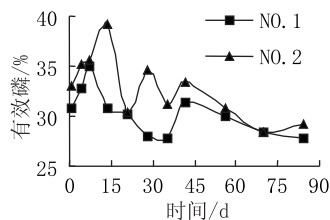


图 2 木质素对红壤中磷有效性的影响

Figure 2 Effects of lignin on availability of phosphorus in red soil

土壤中的磷以无机态和有机态两大类存在, 无机态磷是可供植物吸收的有效磷的主要供给源, 有机态磷则必须经土壤生物分解后转化为无机态的磷酸、磷酸盐才能为植物吸收利用。图 3 对普通肥料处理和木质素肥料处理的土壤中总无机磷进行了比较, 从图中可以看出, 经木质素处理的土壤总无机磷含量明显高于普通肥料的处理。在试验期间的 4 个时段, 无机磷增加量占施磷总量分别为 9.6%、7.4%、3.2%、2.5%, 施肥前期效果优于后期。试验结果显示, 木质素处理的土壤中无机磷含量较非木质素处理高, 表明木质素有延缓施用磷肥向有机态磷的转化。为进一步研究无机磷的增加对土壤有效磷的影响, 我们对土壤无机磷进行了分级处理, 结果如图 4 所示。图 4 显示了土壤中各级磷的变化, 其中 Ca_8-P 、 $Al-P$ 、 $Fe-P$ 随时间变化呈明显的上升趋势, Ca_2-P 呈下滑趋势, 而闭蓄态磷 ($O-P$)、 $Ca_{10}-P$ 变化不明显。这与成瑞喜等人^[51]的研究结果相吻合, 即各级无机磷在化学活性上表现出 Ca_2-P 、 $Al-P$ 、 Ca_8-P 的活性较大, $Fe-P$ 次之, $O-P$

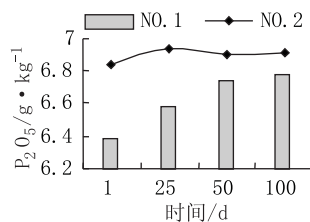


图 3 不同处理土壤中总无机磷随时间变化 (石灰性土壤)

Figure 3 The total inorganic phosphorus of different treatments in calcareous soil

P、Ca₁₀-P 比较稳定。另外我们还通过分析得到, Ca₂-P 在 4 个时间段由占总无机磷总量的 58% ~ 59% 降到 46% ~ 48%, 降低了 10% 左右, 而 Ca₈-P 由 16% 增加到 23%, Al-P 由 3% 增加到 10%。Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P、Fe-P 都是植物能利用的磷素形态, 其中 Ca₂-P 是当季作物的速效磷源, 而 Ca₈-P、Al-P、Fe-P 相对稳定, 是作物的缓效磷源。从以上实验结果分析, 磷肥施入土壤后不断地由速效态向缓效态转化。

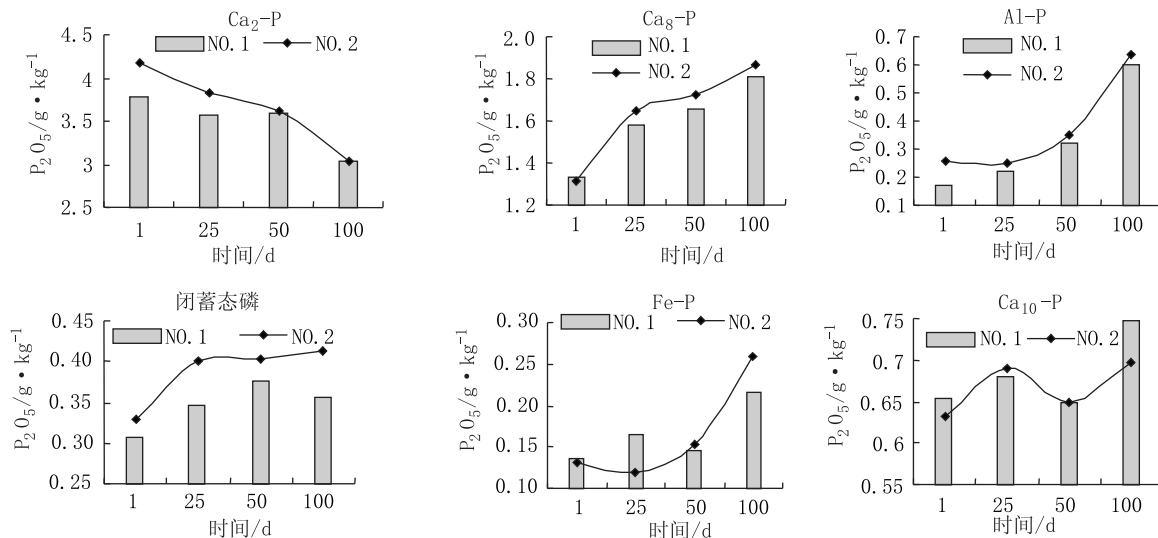


图 4 石灰性土壤中各级无机磷随时间变化曲线

Figure 4 The changes of different inorganic phosphorus fraction in calcareous soil

根据《土壤农业化学分析方法》^[31]中“酸性土壤无机磷形态的分级测定”, 将湖北荆州红壤中的磷分为水溶性 P (包括断键和结合松弛态的磷)、Al-P、Fe-P、O-P、Ca-P 等 5 种形态, 分别于培养后的 1、50、90 d 取样分析土壤中各级磷的含量变化, 以反应时间对磷含量绘制曲线, 结果如图 5、6 所示。图 5 显示了木质素处理和单纯肥料处理的红壤中无机磷总量随时间的变化, 从图中可以看出, 在施肥初期木质素处理的无机磷总量明显高于非木质素处理的, 试验后期二者持平。这与上述石灰性土壤的试验结果一致。图 6 显示了两种不同处理的红壤中各级磷随时间的变化。由图显示肥料施入土壤后随时间的变化, 水溶性 P 呈明显的下降趋势, 而 Al-P、Fe-P、O-P 呈上升趋势, 但 Fe-P、O-P 上升趋势相对不大。从土壤磷含量分析, 水溶性 P 从占总无机磷量的 66% 下降到 53%, Al-P 从 16% 上升到 23%, O-P 从 5% 上升到 8%, 而 Fe-P 只上升了 0.8%。可见随肥料进入土壤时间的增加, 磷素在红壤中是不断从速效态向缓效态转化。将木质素处理与非木质素处理相比较我们还可

将木质素肥料处理与普通肥料处理土壤样品的结果绘图并对比分析 (图 4)。从图 4 曲线可以看出, 二者各级磷总变化趋势基本一致, 但从量上看, 除了 Fe-P、Ca₁₀-P 没太大差别外, 其余各级磷在土壤中的含量均为木质素处理高于非木质素处理, 提高的百分率分别为 Ca₂-P, 4.8%; Ca₈-P, 2.5%; Al-P, 13.7%。可见木质素对提高土壤中速效和缓效态磷源均具有一定的积极作用。

2.2.2 木质素对红壤中磷形态转化的影响

发现, 木质素处理的土壤中水溶性 P 高于非木素处理, Al-P 含量低于非木素处理, 其他各形态磷的含量差异不大。由此表明, 木质素在红壤中对磷转化的影响, 主要是对其中速效态的水溶性磷有积极作用, 对缓效态磷 Al-P 的转化有抑制作用。对其它形态磷的影响, 还有待进一步长期观察实验验证。

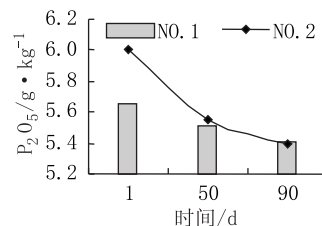


图 5 不同处理无机磷总量随时间变化 (红壤)

Figure 5 The total inorganic phosphorus of different treatments in red soil

2.2.3 土壤中有有效磷与各级无机磷的关系

将 1、25、50、100 d 培养后土壤的有效磷与各级无机磷含量用线性回归方法分析它们之间的相关性, 其相关系数如表 2。

表 2 石灰性土壤中有效磷与不同形态磷的相关性

Table 2 The correlation between the available phosphorus and different fraction of phosphorus in calcareous soils

磷形态	Ca ₂ -P	Ca ₈ -P	Al-P	Fe-P	O-P	Ca ₁₀ -P
相关系数	0.824	0.669	0.891	0.925	0.183	0.463

注: $n=8$, 0.632 为 5% 显著水平; 0.765 为 1% 显著水平。

表 2 数据显示, 在石灰性土壤中 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 Al-P 、

Fe-P 与土壤有效磷的相关系数分别为 0.824、0.891、0.925, 均达到或超过 1% 显著水平, 其中 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量高于 5% 显著水平, 而 O-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 与有效磷的相关性不显著。木质素石灰性土壤中对植物的主要磷源 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 Al-P 、 Fe-P 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量的增加都有促进作用 (如图 4), 因而对提高土壤磷有效性很有意义。

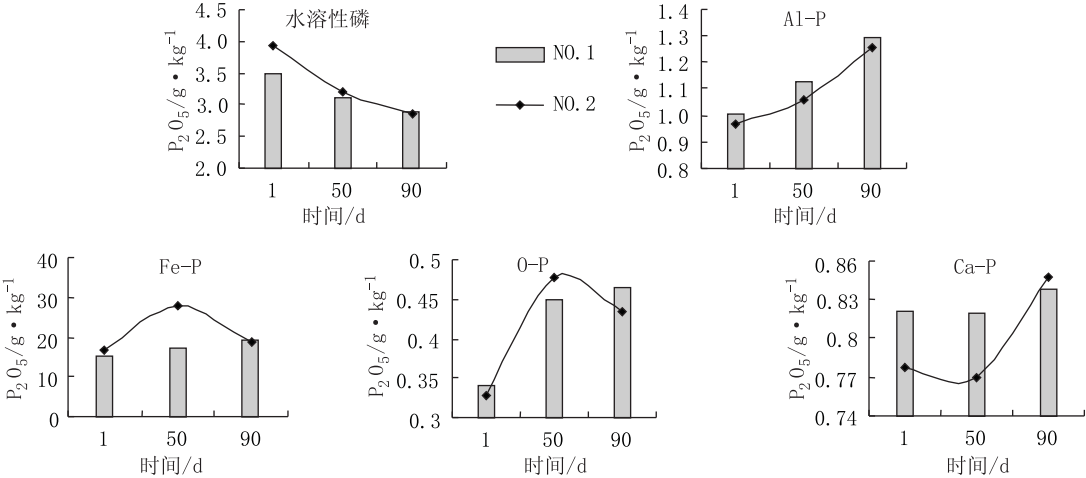


图 6 红壤中各形态无机磷随时间变化曲线

Figure 6 The change of different inorganic phosphorus fractions in red soil

对红壤中有效磷与各级无机磷的相关性分析表明, 土壤水溶性磷与有效磷的相关系数达到了 0.903 的显著相关水平, 其他各级无机磷未达到显著相关水平, 施用木质素肥料的土壤中水溶性磷高于非木质素处理, 从而进一步说明木质素能增加磷在土壤中的有效性。

本研究结果表明, 木质素在石灰性土壤中对磷的有效性影响好于红壤。

3 结论

(1) 木质素随磷肥施入土壤后, 能提高土壤中有有效磷的含量, 减少土壤对磷素的固定, 并且对石灰性土壤的作用好于红壤。

(2) 在石灰性土壤中, $\text{Ca}_2\text{-P}$ 对土壤中有有效磷贡献最大, 是作物的主要磷源, 而 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 、 Fe-P 对土壤有效磷也有一定贡献, 是作物的缓效磷源, O-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 对土壤有效磷贡献不明显, 是作物的

潜在磷源。在红壤中, 水溶性磷对有效磷的贡献最大, 其它各级无机磷对有效磷的贡献不明显。

(3) 通过木质素处理与非木质素处理土壤的结果比较表明, 木质素对土壤中各级有效磷源都有促进作用, 能在一定程度上提高磷的有效性, 进而提高磷的当季利用率。

参考文献:

[1] 沈 汉．从农田土壤养分的 10 年演变看北京市今后施肥方向与策略[J]．北京农业科学, 1996, 14(3): 1-4.

[2] 穆环珍, 等．增效磷肥的研制与增产效应研究[J]．农业环境保护, 2002, 21(2): 26-28.

[3] 鲁如坤, 等．土壤农业化学分析方法[M]．北京: 中国农业科技出版社, 2000. 175-178.

[4] 蒋柏藩, 等．石灰性土壤无机磷有效性研究[J]．土壤, 1992, 24(2): 68-70.

[5] 成瑞喜, 等．磷肥对酸性土壤无机磷形态转化及其有效性的影响[J]．土壤, 1995, 27(5): 225-228.