

Research Progress in the Effect of C/P Ratio on Soil Phosphorus Availability

Xiucui Yang¹, Ling Chen¹, Qingwei Zhang¹, Zhen Guo², Xiaoli Wang^{1*}, Jianjun Duan^{3,4}

¹College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang Guizhou

²Shaanxi Land Engineering Construction Group, Xi'an Shaanxi

³Tobacco College, Guizhou University, Guiyang Guizhou

⁴Key Laboratory of Tobacco Quality in Guizhou Province, Guiyang Guizhou

Email: 1667784024@qq.com, *112512178@qq.com

Received: Nov. 16th, 2018; accepted: Dec. 3rd, 2018; published: Dec. 10th, 2018

Abstract

The availability of soil phosphorus is affected by many factors. The low efficiency utilization of phosphorus not only seriously restricts the development of agricultural production, but also makes phosphorus not fully utilized and wastes phosphorus resources seriously. It is of great significance to study the factors affecting the availability of phosphorus for improving the utilization rate of phosphorus in agriculture in the future. Based on the achievements and the latest research progress at home and abroad, the research status of phosphorus availability was summarized from the influencing factors (soil pH, water, trace element activator, organic matter, etc.), and some problems existing in the study of soil phosphorus availability were pointed out.

Keywords

Soil, Phosphorus, Phosphorus Availability, C/P

碳磷比对土壤磷素有效性的影响研究进展

杨秀才¹, 陈 领¹, 张青伟¹, 郭 振², 王小利^{1*}, 段建军^{3,4}

¹贵州大学农学院, 贵州 贵阳

²陕西省土地工程建设集团, 陕西 西安

³贵州大学烟草学院, 贵州 贵阳

⁴贵州省烟草品质重点实验室, 贵州 贵阳

Email: 1667784024@qq.com, *112512178@qq.com

收稿日期: 2018年11月16日; 录用日期: 2018年12月3日; 发布日期: 2018年12月10日

*通讯作者。

摘要

土壤磷素有效性受诸多因素的影响, 磷素低效利用率不仅严重制约着农业生产的发展, 而且使得磷没有得到充分利用、严重浪费磷资源。研究影响磷素有效性的因素, 对今后提高磷素在农业中利用率具有重要意义。本文结合国内外已有成果和最新的研究进展, 从影响磷素有效性的因素(土壤pH、水分、微量元素活化剂、有机质等)综述了磷素有效性研究现状, 并提出了目前在土壤磷素有效性研究中存在的一些问题和今后研究的热点。

关键词

土壤, 磷素, 磷素有效性, 碳磷比

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

磷是植物生长发育必须的大量元素。植物体生长发育所需的磷素主要通过土壤磷库中获得, 或通过施肥使得植物可以吸收足够的磷素。缺磷植物的症状常首先出现在老叶, 从较老叶片开始向上扩展; 从外形上看: 生长延缓, 植株矮小, 分枝和分蘖减少; 因体内碳水化合物代谢受阻, 有糖分积累而形成花青素(糖苷), 许多一年生植物的茎叶呈现典型症状: 紫红色; 供磷不足时, 细胞分裂迟缓、新细胞难以形成, 同时也影响细胞伸长。缺磷对植物光合作用、呼吸作用及生物合成过程都有影响。植物缺磷一大因素是因为磷的利用率极低造成了植物缺磷以至于植物没有健康生长发育。因此, 对提高磷素的利用率的研究, 其重要性可想而知, 本文正是基于此目的, 综述了目前国内外对磷素有效性的研究进展, 并对今后土壤磷素有效性的研究进行展望, 以期促进土壤磷素有效性的研究。

2. 磷素有效性研究国内外研究现状

磷是植物生长发育的必须营养素之一, 磷的缺乏将导致植物发生形态和生理上的变化。磷又是不可再生资源, 世界磷矿资源非常有限, 据研究估计, 全世界磷矿储量约 60 亿 t (P), 按目前的开采速度, 只能维持 50 年。磷肥(包括有机和化学磷肥)是土壤磷的主要来源, 但是, 土壤矿物通常对磷素具有强烈的固定和吸附作用, 使土壤中 95%以上的磷成为无效态, 导致土壤磷素的植物有效利用率普遍较低。由于特定的理化性质和磷酸盐的化学行为, 磷的当季利用率只有 10%~25%, 绝大多数的磷以无效态存在于土壤中[1]。开展磷素活化剂研究, 探索控制磷固定及释放土壤中磷以供作物需求是解决环境问题, 降低磷投入量缓解资源不足的一条合理途径[2]。经研究, 非生物胁迫不仅直接损伤作物根系, 还降低了土壤中无机磷素的可移动性和有效性, 导致作物生理性缺磷。施磷可有效减轻非生物胁迫对作物的伤害, 促进作物对水分和养分的吸收, 并在一定程度上提高作物的抗逆性[3]。研究表明: 目前我国不同类型土壤中全磷含量在 0.31~1.72 g·Kg⁻¹, 速效磷含量在 0.1~228.8 mg·Kg⁻¹。土壤母化、理化性质和施肥方式是影响农田土壤磷素有效性的主要原因, 未来应注重有机肥和化肥的混合施用以提高农田土壤磷素有效性。土壤中磷肥的转化速率受作物类型、土壤理化性质影响(土壤溶液中游离 Fe, 活性 CaCO₃、pH、黏粒含量、有机质含泥量等)、环境条件(土壤湿度、温度等)、种植方式、磷肥种类和用量以及施用方式等的影

响[4]。在农业生产中,采取适当的措施,调控土壤微生物量磷的大小和周转过程,以最大化土壤微生物活化磷的能力具有重要意义[5]。

3. 影响磷素有效性的途径

土壤磷营养是影响我国农业高产的主要限制因素,增施磷肥是一种“高投入,低产出”的途径,解决磷营养问题以保持作物高产的同时保护环境成为世界性研究任务。土壤中磷的生物有效性受诸多因素影响,如pH、有机质、水分、微生物及植物根系分泌的质子和有机酸等[6]。

3.1. 有机质

土壤性质同时还影响土壤非有效态磷向速效磷的转化,有机质对磷素的影响主要体现在农田土壤有机质有部分来自于有机肥的施用,二有机肥含有丰富的有机质和有机酸,农田土壤中的磷含量随有机质的含量增加而增加。据相关研究分析显示,土壤有机质与土壤全磷呈弱相关关系($R^2 = 0.10, P < 0.01, n = 133$),而有机质含量与速效磷呈中等强度的相关关系($R^2 = 0.17, P < 0.01, n = 142$),基本趋势为土壤磷含量随有机质的增加而增加。但到了一定程度后就不再增加[7]。

3.2. 土壤 pH

土壤 pH 是影响土壤磷素有效性的一个重要因素。首先, pH 影响磷素在土壤中存在形态,在中性酸土壤环境中,磷被铁、铝氧化固定,故磷在土壤中的存在形态主要是磷酸铁、铝盐[8]。而在碱性土壤中受到钙的固定,主要以 Ca-P 的形式存在,其占无机磷总量 80%以上[9]。在一定范围内植物的吸磷量与根基土壤 pH 呈指数相关,生长在北方石灰性土壤上的油菜、肥田萝卜等磷高效作物,通过根系分泌大量的苹果酸、柠檬酸等有机酸降低根际土壤的 pH,增加对根际土壤 $Ca_8\text{-P}$ 、Al-P 等磷酸盐的吸收利用[10]。

3.3. 微量元素活化剂

一些含微量元素的化合物对磷肥在土壤中的移动具有推动作用,能够减少速效磷的固定和退化,同时补充土壤中量和微量元素的不足,增强作物抗病能力,刺激作物根系生长,利于磷的吸收,从而提高磷肥的当季利用率。莫桂英,谢伟研制了磷肥添加微量元素制成的促进剂制成了高效磷肥,取得良好效果[11]。相关研究人员对微量元素磷肥的生产和应用进行了开发和研究发现,生产中添加硼、钼复合微量元素的磷矿转化率有显著提高,使用在作物上是提高磷肥中有效磷的利用率增产明显,经济效益提高[12]。

3.4. 水分

朱昌锋研究发现:① 随着淹水培养时间越长,土壤氧化还原电位降低,土壤有机质含量越高, pH 越低, Eh 值降低越快,降幅也越大,淹水后土壤 pH 趋于中性。② 淹水后土壤 Olsen 磷含量随培养时间的延长而增加,并且在酸性土壤上的增幅大于中性和石灰性土壤,通过比较各种无机磷的组分的含量变化可知,土壤 Olsen 磷含量的增加主要取决于无机磷中原有铁磷或钙磷体系活性的提高[13]。大多数土壤在淹水后,其速效磷含量显著上升。其主要原因是:① 淹水后,土壤还原性增强,使三价铁还原成二价铁,从而使原与三价铁结合的磷释放出来。当还原性作用更强时,铁的形态改变还可以使闭蓄态磷裸露而增加其有效性。② 淹水使土壤 pH 值升高,土壤的正电荷量减少,从而使原被土壤吸附的带负电荷的磷酸离子释放出来。③ 淹水使某些简单的有机阴离子通过竞争吸附,置换出部分磷离子。④ 在酸性土壤中,淹水导致 pH 值升高,增加了铁-磷和铝-磷的溶解度。⑤ 土壤淹水后,可使磷的扩散系数增加,从而提高磷的有效性。

3.5. 土壤微生物

土壤微生物在土壤磷素转化过程和有效性中起着重要作用。唐宏亮等研究结果表明：随着培养时间的延长，土壤微生物对土壤碳源的利用呈现增加的趋势，直至碳源消耗殆尽；高磷供应显著增加了玉米根际土壤微生物群落平均颜色变化率(Average Well Color Development, AWCD)，提高了对糖类及其衍生物、氨基酸和代谢产物的利用，但没有显著提高对脂肪酸和脂类的利用；在培养前 72 h 内，高磷供应显著增加了玉米根际微生物多样性指数、优势度指数和均匀度指数，但培养 72 h 后，磷供应对其没有显著的影响[14]。主成分分析结果表明，提取的前 3 个主成分解释了 75.15%的碳源利用，高磷和低磷处理具有显著不同的土壤微生物碳源利用模式。总之，糖类及其衍生物、氨基酸和代谢产物是玉米根际土壤微生物利用的主要碳源，短期磷添加能够显著增加土壤微生物对碳源的利用，在一定程度上能够提高土壤微生物群落功能多样性。

3.5.1. 解磷微生物种类及其效应

能够分解难溶性磷化合物的土壤微生物种类有很多，也很复杂，包括细菌、真菌、放线菌等。土壤解磷微生物主要受土壤母质、气候条件、和植被类型以及生态环境等影响因子的影响。钟传青等研究发现：细菌、酵母菌、霉菌在解磷方面均有一定作用，发挥着不同优势。酸钙、磷酸铝、磷酸铁等难溶性磷酸盐容易被酵母菌、霉菌溶解，而磷矿粉容易被巨大芽孢杆菌溶解，显示不同微生物与不同磷源的亲和溶解能力不同[15]。不同种类磷酸盐或磷矿粉对微生物磷酸酶活力的影响不同，贫磷条件可以促进酸性和碱性磷酸酶活性的增加。糖类及其衍生物、氨基酸和代谢产物是玉米根际土壤微生物利用的主要碳源，短期磷添加能够显著增加土壤微生物对碳源的利用，在一定程度上能够提高土壤微生物群落功能多样性[14]。

3.5.2. 微生物对无机固态磷的溶解作用

土壤中有相当比例的微生物能促使植物难以利用的不溶性无机磷酸盐进入溶液。土壤微生物对土壤难溶态无机磷的溶解机理还不是很清楚，一般认为是微生物分泌的有机酸或质子降低了土壤 pH，促进难溶性土壤磷酸盐的溶解，而且有机酸作为螯合剂，通过与铁、铝、钙等阳离子螯合，抑制过饱和溶液生成磷的化学沉淀。

3.5.3. 微生物对有机磷的降解与矿化

土壤有机磷的矿化和积累是以土壤微生物为介质，在磷酸酶的作用下进行的。当磷是微生物和植物生长的限制因子时，土壤微生物分泌的酸性或碱性磷酸酶，降解植酸性，磷脂等有机磷化合物水解，转化为简单的无机化合物为植物所吸收利用。

3.5.4. 微生物对磷的固持作用

土壤无机磷和有机磷的之间的转化，其关键过程就是有机质的矿化作用和微生物的固持作用这一过程可简单表示为：



土壤中磷酸盐的浓度取决于这两个同时进行、方向相反过程的相对速率。微生物对磷素的固持与释放，主要受土壤中可降解有机物含量的影响。当有机物 $w(\text{C})/w(\text{P}) \geq 300$ 时固持率大于矿化率，反之，该值 ≤ 200 时固持率小于矿化率，就出现有机质的净矿化[16]。

3.6. 碳磷比对磷素有效性的影响

来璐，赵小蓉等研究发现在土壤有机碳供应不充足的条件下，加入的无机磷对土壤微生物量碳无明显

显影响, 但可显著增加土壤微生物量磷和微生物含磷量, 随着无机磷加入量的增加, 土壤微生物量磷和微生物含磷量增加幅度增加。土壤微生物量磷及微生物含磷量与土壤有效磷之间成显著直线相关。也就是说在低碳条件下增加无机磷能够促进磷的有效性[17]。李春越等研究发现, 微生物碳磷比与土壤 pH、全碳无机磷含量以及磷素回收率之间具有一定的相关性[18]。微生物碳磷比可作为土壤磷素利用的一个指标, 微生物碳磷比的大小反映土壤微生物对土壤磷有效性的调节作用。向土壤中加入的生物炭通过自身的有机磷的矿化作用来提高土壤磷素的有效性, 促进土壤中的难溶态磷转化成植物可利用的可溶态磷, 提高植物对磷素的吸收和利用[19]。

3.7. 外源碳磷加入对土壤有效磷的影响

土壤速效磷是评价土壤供磷水平的重要指标, 它直接反映土壤的供磷水平。有大量研究发现, 向土壤中添加有机肥或无机磷有机肥配施能增加土壤有效磷含量。而且微生物在分解有机物质的过程中, 有机物质中磷含量和碳磷比决定着土壤磷素的固持和释放, 如果 $w(C)/w(P)$ 大于 300, 会发生磷的净固持, 降低土壤有效磷含量; $w(C)/w(P)$ 小于 200, 磷的释放速率大于固持速率, 并增加水溶态磷含量。加入含磷较高, C/P 比较低的玉米秸秆(C/P = 308), 土壤有效磷含量显著增加, 加入 C/P 高于玉米的小麦、棉花、大豆秸秆, 均降低了土壤有效磷含量; 单独加入无机磷, 在培养前期, 土壤有效磷迅速减少, 随时间增加有效磷含量又逐渐增加, 然后趋于平缓, 最终土壤有效磷含量随着无机磷施用量的增加呈现明显上升趋势, 但是同一无机磷浓度梯度, 加和不加小麦秸秆(C/P = 600)或黑麦草基质处理之间无明显差异[20][21]。综上所述, 添加含磷较高, C/P 比较低的有机物质能增加土壤有效磷含量, 可能是因其为微生物活动提供了充分的磷源, 加快了磷的周转速率; 而无机磷能明显增加土壤有效磷, 与无机磷混合时, 碳源的加入对土壤有效磷含量没有明显影响。

4. 展望

虽然目前已有学者对碳磷比对土壤磷素有效性的影响进行了相关研究, 但碳磷比如何影响磷素的有效性, 其比值为多少能最大限度地提高磷素有效性, 其机制尚不明确。外源碳磷的加入对于土壤磷素有效性的影响尚缺乏研究, 将来是研究土壤磷素有效性的重要机制。希望研究者们能加强碳磷比影响磷素有效性的机制的研究, 为提高磷素有效性提供多一条途径, 达到节约资源的目的。

基金项目

贵州省普通高等学校特色重点实验室建设项目(黔教合 KY 字[2016]001); 贵州大学研究生教育创新基地建设项目(贵大研 SJJJ[2015]004)。

参考文献

- [1] 鲁如坤. 土壤磷素化学研究进展[J]. 土壤学进展, 1990(6): 1-5 + 19.
- [2] 邱兰兰, 石元亮. 磷素活化剂研究进展[J]. 土壤通报, 2007(2): 38.
- [3] 田志杰, 李景鹏, 杨福. 非生物胁迫下作物磷素利用研究进展[J]. 生态学杂志, 2017, 36(8): 2336-2342.
- [4] Ryan, J., Hasan, H.M., Baasiri, M., *et al.* (1985) Availability and Transformation of Applied Phosphorus in Calcareous Lebanese Sols. *Soil Science Society of America Journal*, **49**, 1215-1220.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900050029x>
- [5] 黄达, 冯固. 提高土壤磷有效性的微生物途径[C]//中国土壤学会. 面向未来的土壤科学(中册)——中国土壤学会第十二次全国会员代表大会暨第九届海峡两岸土壤肥科学术交流研讨会论文集. 南京: 中国土壤学会, 2012: 1.
- [6] 陆文龙, 张福锁, 曹一平. 磷土壤化学行为研究进展[J]. 天津农业科学, 1998(4): 3-9.
- [7] 王永壮, 陈欣, 史突. 农田土壤中磷素有效性及影响因素[J]. 应用生态学报, 2013, 24(1): 260-268.

- [8] 沈仁芳. 潮土无机磷的形态及其分布特点[J]. 河南农业科学, 1992(12): 24-25.
- [9] 沈仁芳, 蒋柏藩. 石灰性土壤无机磷的形态分布及其有效性[J]. 土壤学报, 1992(1): 80-86.
- [10] 刘建玲, 张凤华. 土壤磷素化学行为及影响因素研究进展[J]. 河北农业大学学报, 2000(3): 36-45.
- [11] 莫桂英, 谢伟. 高效磷肥的研制及其在水稻上的施用效果[J]. 广东化工, 2001(2): 30-31.
- [12] 周斌, 王美燕. 微量元素磷肥的生产及应用[J]. 化肥工业, 2003(1): 30-32 + 58.
- [13] 朱昌锋. 淹水对土壤磷有效性影响的研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [14] 唐宏亮, 郭秋换, 张春潮, 段霄霄. 磷供应对玉米根际微生物碳源利用和功能多样性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(10): 1312-1319.
- [15] 钟传青, 黄为一. 不同种类解磷微生物的溶磷效果及其磷酸酶活性的变化[J]. 土壤学报, 2005(2): 286-294.
- [16] 陈立新. 东北山地人工林生态系统土壤肥力的研究[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2000: 147-148.
- [17] 来璐, 赵小蓉, 李贵桐, 林启美. 低碳条件下土壤微生物量磷对加入无机磷的响应[J]. 生态环境, 2007(3): 1014-1017.
- [18] 李春越, 王益, Philip Brookes, 党廷辉, 王万忠. pH 对土壤微生物 C/P 比的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(13): 2709-2716.
- [19] 于姣姐, 殷丹阳, 李莹, 周垂帆. 生物炭对土壤磷素循环影响机制研究进展[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(18): 17-21.
- [20] 周然. 石灰性土壤微生物生物量 C/P 比的影响因素[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [21] 李春越, 王益, Philip Brookes, 等. 外源碳磷的加入对农田土壤微生物碳磷比及磷素有效性的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(11): 113-117.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7255, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: hjss@hanspub.org