

程 林, 王宗亚, 黄双双, 等. 氨基酸增值磷肥对黄褐土磷素有效性及酶活性的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(11): 2046-2052.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.11.008

氨基酸增值磷肥对黄褐土磷素有效性及酶活性的影响

程 林, 王宗亚, 黄双双, 邬洪艳, 李 俊, 李瑞超
(皖江工学院水利工程学院, 安徽 马鞍山 243031)

摘要: 为了明确氨基酸增值磷肥对黄褐土中的磷素有效性及相关酶活性的影响, 本研究采用室内土培方法, 设置不施磷肥(CK)、施普通磷肥(P)和施3种氨基酸增值磷肥[添加0.5%氨基酸的氨基酸增值磷肥(AP0.5)、添加1.0%氨基酸的氨基酸增值磷肥(AP1.0)和添加5.0%氨基酸的氨基酸增值磷肥(AP5.0)]共5个处理, 分别测定不同土层、不同培养时间土壤磷素有效性和碱性磷酸酶活性。结果表明, 0~20 cm 土层土壤从培养第7 d 开始, AP0.5、AP1.0、AP5.0处理 pH 显著低于CK和P处理; 40~60 cm 土层土壤从培养第7 d 开始, 各处理 pH 显著低于CK, 且都在第60 d 达到最低值。土壤中有效磷和Ca-P含量与CK相比显著提高。不同深度土层中氨基酸增值磷肥对土壤碱性磷酸酶活性的促进作用表现不一, 总的来看, 以5.0%氨基酸添加量的氨基酸增值磷肥作用效果较好。本研究结果为小分子物质活化磷肥性能提供了理论依据。

关键词: 氨基酸增值磷肥; 黄褐土; 磷转化; 碱性磷酸酶活性

中图分类号: S153.6⁺21; S143.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2024)11-2046-07

Effects of amino acid value-added phosphate fertilizer on phosphorus availability and enzyme activity in yellow cinnamon soil

CHENG Lin, WANG Zongya, HUANG Shuangshuang, WU Hongyan, LI Jun, LI Ruichao
(School of Hydraulic Engineering, Wanjiang University of Technology, Ma'anshan 243031, China)

Abstract: In order to clarify the effects of amino acid value-added phosphate fertilizer on phosphorus availability and related enzyme activities in yellow cinnamon soil, the indoor soil culture method was adopted in this study. Five treatments were set up: no phosphate fertilizer (CK), ordinary phosphate fertilizer (P) and amino acid value-added phosphate fertilizer with 0.5% amino acid (AP0.5), amino acid value-added phosphate fertilizer with 1.0% amino acid (AP1.0) and amino acid value-added phosphate fertilizer with 5.0% amino acid (AP5.0). Soil phosphorus availability and alkaline phosphatase activity were measured in different soil layers and different incubation time. The results showed that the soil pH of AP0.5, AP1.0 and AP5.0 treatments was significantly lower than that of CK and P treatment in 0–20 cm soil layer from the 7th day of culture. From the 7th day of culture, the pH of 40–60 cm soil layer was significantly lower than that of CK, and reached the lowest value on the 60th day. The contents of available phosphorus and Ca-P in soil were significantly higher than those in CK. The promoting effect of amino acid value-added phosphate fertilizer on soil alkaline phosphatase activity in different soil layers was different. In general, the effect of amino acid value-added phosphate fertilizer with 5.0% amino acid

addition was better. The results of this study provide a theoretical basis for the activation of phosphate fertilizer by small molecular substances.

Key words: amino acid value-added phosphate fertilizer; yellow cinnamon soil; phosphorus transformation; alkaline phosphatase activity

收稿日期: 2024-02-19

基金项目: 2022 年度安徽省高校科研重点项目(2022AH052438)

作者简介: 程 林(1993–), 男, 安徽安庆人, 硕士, 助理教授, 研究方向为植物养分管理与高效利用。(E-mail) 1550708563@qq.com

磷是农作物生长的必需营养元素,农业生产中施入的磷肥除了被作物吸收外,相当一部分会累积在土壤中,造成磷肥当季利用率仅在 25% 左右^[1-2],累积在土壤中的磷会通过径流作用污染水体,引发一系列环境问题^[3]。此外,磷肥产业的迅猛发展导致磷矿大量消耗,可能造成资源枯竭等问题,有研究结果表明,中国磷矿储量仅供开采约 20 年^[4]。因此,降低磷的固定性、提高磷肥利用率一直是国内外学者关注和探讨的焦点。目前提高磷肥利用率主要有 3 种方法,一是筛选磷高效基因型作物以增强植物本身对磷的吸收利用^[5-7];二是调控土壤环境、改善施肥方式以提高植物对磷肥的利用率^[8-9];三是在不改变磷肥生产工艺的前提下,基于土壤-作物-肥料中磷素的转化特征,通过添加改性材料达到促进磷素释放的目的^[10]。其中,向传统磷肥中添加生理活性物质进行改性增效是开创新型肥料研究的重要举措之一。有研究结果表明,将腐殖酸和海藻酸类生物大分子物质作为增效剂添加到磷肥中,有助于降低土壤磷固定,提高磷肥利用率^[11-15]。然而,由于这些物质多为复合物,其增效机理较为复杂,因此迫切需要开发小分子肥料增效剂以提升磷肥利用率。小分子氨基酸类物质富含氨基和羧基,与磷肥混合能够增强磷的有效性,从而提高磷肥利用

率^[16]。另有研究人员指出,向水溶性肥料中添加氨基酸发酵尾液增效作用显著,并能提高土壤中的有效磷含量^[17]。刘洪芳^[18]和周红梅等^[19]将海藻提取物(主要成分为海藻酸、氨基酸等)作为磷肥添加剂进行土培试验,发现海藻提取物能增加土壤中无机磷含量,并能螯合土壤中的金属阳离子,活化土壤固态磷,增强磷素有效性。Sharif 等^[20]指出氨基酸类活性物质不仅可以通过还原作用活化土壤固态磷,还可以促进解磷微生物增殖以活化土壤难溶性磷。但是关于氨基酸作为添加剂生产的氨基酸增值磷肥在土壤中的形态转化与增效机理的探究鲜见报道。

本研究通过在磷酸二铵中添加不同比例的氨基酸,制备成氨基酸增值磷肥,并采用室内土培试验,研究氨基酸增值磷肥在室内条件下对土壤 pH、无机磷形态转化以及碱性磷酸酶活性的影响,为氨基酸类小分子物质提高磷肥利用率提供数据和理论支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试土壤 供试土壤采自皖江工学院农业园 0~20 cm 土层和 40~60 cm 土层,自然风干后过 2 mm 筛。土壤类型为黄褐土,土壤基本理化性质如表 1 所示。

表 1 供试土壤的理化性质

Table 1 Physicochemical properties of tested soils

土层深度 (cm)	pH	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
0~20	7.27	10.17	0.82	7.35	138.62
40~60	7.71	8.33	0.63	7.84	121.05

1.1.2 供试肥料

1.1.2.1 氨基酸增效剂 由中国农业科学院农业资源与农业区划研究所提供,氨基酸总量为 20%,主要成分为谷氨酸、赖氨酸、缬氨酸和丙氨酸。

1.1.2.2 氨基酸增值磷肥(AP) 分别按 0.5%、1.0% 和 5.0% 的比例将氨基酸增效剂添加到磷酸二铵中,混匀后粉碎、过 1 mm 筛,最终形成 0.5% 氨基酸增值磷酸二铵(AP0.5)、1.0% 氨基酸增值磷酸二铵(AP1.0) 和 5.0% 氨基酸增值磷酸二铵(AP5.0)。

1.1.2.3 普通磷肥(P) 用和 1.1.2.2 中相同的磷酸二铵,直接粉碎后过 1 mm 筛,得到不含氨基酸增效剂的普通磷肥(P)。

1.2 试验设计

本试验于 2023 年 5~8 月在皖江工学院实验室进行,共设置 5 个处理,分别是不施肥对照(CK)、施用 P、施用 AP0.5、施用 AP 1.0 以及施用 AP 5.0,处理中的施磷量(以 P_2O_5 计算)均为 1.00 kg 土壤加 0.30 g P_2O_5 ,每个处理重复 21 次。称取风干土壤 100.00 g 于培养杯中,根据试验处理分别加入 P、AP0.5、AP1.0 和 AP5.0,将土壤充分搅拌均匀后,调整其含水量至田间最大持水量的 60%,然后使用带有孔洞的保鲜膜封口,将其放置在 25 ℃ 人工气候室中保持一定湿度进行培养。培养期间定期称重,采用重量法补充水分。在培养第 1 d、第 3 d、第 5 d、第

7 d、第 14 d、第 30 d 和第 60 d 分别取样进行土壤 pH、速效磷含量、无机磷含量以及碱性磷酸酶活性测定。

1.3 测定方法

土壤基本理化性质按照常规分析方法进行测试,土壤 pH 采用电位法(土:水为 1.00 mL:2.50 g)测定,速效磷含量采用 NaHCO_3 浸提-钼锑抗比色法测定^[21];无机磷形态($\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$)含量采用分级测定方法测定^[22];土壤碱性磷酸酶活性采用荧光微型板酶检测技术测定^[23]。

1.4 数据处理

计算磷肥在土壤中的固定率,应用以下公式:

固定率=[(施入 P_2O_5 量-土壤有效磷增加量)/施入的 P_2O_5 量] $\times 100\%$ 。

公式中土壤有效磷增加量指的是培养 60 d 后施磷组与对照组土壤有效磷含量的差值。数据经 Excel 2017 整理后,再用 SPSS 22、Duncan's 和 Origin 2018 进行统计分析、多重比较和作图。

表 2 氨基酸增值磷肥对不同深度土层中土壤 pH 的影响

Table 2 Effects of amino acid value-added phosphorus fertilizer on soil pH in different soil layers

土层 (cm)	处理	不同培养时间土壤 pH						
		1 d	3 d	5 d	7 d	14 d	30 d	60 d
0~20	CK	7.45 \pm 0.025a	7.44 \pm 0.028a	7.44 \pm 0.037a	7.41 \pm 0.035a	7.38 \pm 0.027a	7.39 \pm 0.027a	7.37 \pm 0.022a
	P	7.49 \pm 0.031a	7.47 \pm 0.025a	7.46 \pm 0.029a	7.38 \pm 0.026b	7.35 \pm 0.031b	7.33 \pm 0.024b	7.34 \pm 0.028b
	AP0.5	7.41 \pm 0.017a	7.37 \pm 0.013a	7.35 \pm 0.021a	7.21 \pm 0.018c	7.18 \pm 0.020c	7.14 \pm 0.031c	7.17 \pm 0.021c
	AP1.0	7.43 \pm 0.022a	7.38 \pm 0.022a	7.33 \pm 0.036a	7.24 \pm 0.024c	7.20 \pm 0.023c	7.18 \pm 0.025c	7.15 \pm 0.016c
	AP5.0	7.40 \pm 0.029a	7.36 \pm 0.028a	7.34 \pm 0.028a	7.18 \pm 0.019c	7.09 \pm 0.015d	7.06 \pm 0.017d	7.11 \pm 0.014c
40~60	CK	7.55 \pm 0.031a	7.62 \pm 0.044a	7.57 \pm 0.029a	7.59 \pm 0.041a	7.68 \pm 0.025a	7.79 \pm 0.028a	7.64 \pm 0.043a
	P	7.59 \pm 0.026a	7.61 \pm 0.042a	7.58 \pm 0.034a	7.48 \pm 0.022b	7.59 \pm 0.037b	7.48 \pm 0.031b	7.38 \pm 0.025b
	AP0.5	7.59 \pm 0.038a	7.61 \pm 0.037a	7.53 \pm 0.038ab	7.51 \pm 0.026b	7.66 \pm 0.042b	7.47 \pm 0.017b	7.20 \pm 0.021b
	AP1.0	7.61 \pm 0.047a	7.60 \pm 0.028a	7.49 \pm 0.024b	7.49 \pm 0.035b	7.59 \pm 0.034b	7.33 \pm 0.020b	7.22 \pm 0.019b
	AP5.0	7.61 \pm 0.039a	7.57 \pm 0.033b	7.52 \pm 0.031a	7.52 \pm 0.038b	7.58 \pm 0.031b	7.41 \pm 0.035b	7.17 \pm 0.017b

CK:不施肥对照;P:施普通磷肥(磷酸二铵);AP0.5:施 0.5%氨基酸增值磷酸二铵;AP1.0:施 1.0%氨基酸增值磷酸二铵;AP5.0:施 5.0%氨基酸增值磷酸二铵。表中数据为平均值 \pm 标准差;同一列相同土层不同小写字母表示在同一培养时间下处理间存在显著差异($P<0.05$)。

2.2 氨基酸增值磷肥对土壤有效磷含量的影响

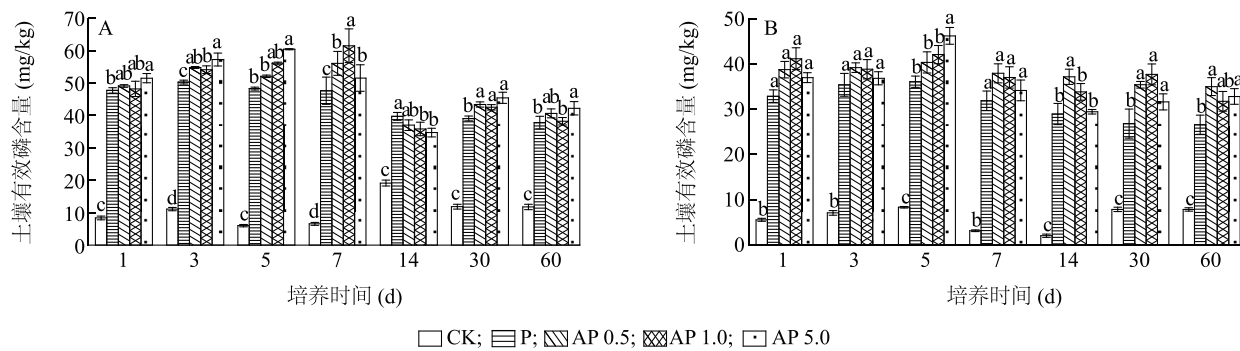
从图 1 可见,P、AP0.5、AP1.0、AP5.0 处理土壤中有有效磷含量与 CK 相比均显著增加。在 0~20 cm 土层(图 1 A),培养 3 d、7 d 和 30 d 时 3 种氨基酸增值磷肥处理较普通磷肥处理有效磷含量显著增加;AP0.5 和 AP1.0 处理在第 7 d 时有效磷含量达到峰值,AP5.0 处理在第 5 d 时达到峰值。在 40~60 cm 土层

2 结果与分析

2.1 氨基酸增值磷肥对土壤 pH 的影响

从表 2 可知,0~20 cm 土层从培养第 7 d 开始,AP0.5、AP1.0、AP5.0 处理土壤 pH 值显著低于 CK 和 P 处理。随着培养时间增加 AP1.0 处理土壤 pH 值逐渐下降,并在第 60 d 达到最低值;AP0.5 和 AP5.0 处理 pH 值呈先降低后微升的趋势,并且都在第 30 d 达到最低值。40~60 cm 土层从培养第 7 d 开始,各处理之间的土壤 pH 值显著低于 CK,且都在第 60 d 达到最低值。培养第 60 d,0~20 cm 土层 3 种氨基酸增值磷肥与第 1 d 相比土壤 pH 降幅分别为 0.24、0.28、0.29 个单位,普通磷肥处理与第 1 d 相比土壤 pH 的降幅为 0.15 个单位;40~60 cm 土层 3 种氨基酸增值磷肥与第 1 d 相比土壤 pH 的降幅分别为 0.39、0.39、0.44 个单位,普通磷肥处理与第 1 d 相比土壤 pH 的降幅为 0.21 个单位。

(图 1 B),培养 5 d 时,AP5.0 处理有效磷含量与普通磷肥相比显著增加,培养 14 d 时,AP0.5 处理有效磷含量与普通磷肥相比显著增加,培养 30 d 时,3 种氨基酸增值磷肥处理有效磷含量与普通磷肥相比均显著增加,培养 60 d 时,AP0.5 和 AP5.0 处理有效磷含量与普通磷肥相比显著增加;AP0.5、AP1.0、AP5.0 处理有效磷含量均都在第 5 d 时达到峰值。



A: 0~20 cm 土层土壤有效磷含量; B: 40~60 cm 土层土壤有效磷含量。CK、P、AP0.5、AP1.0和AP5.0见表2注。同一培养时间图柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

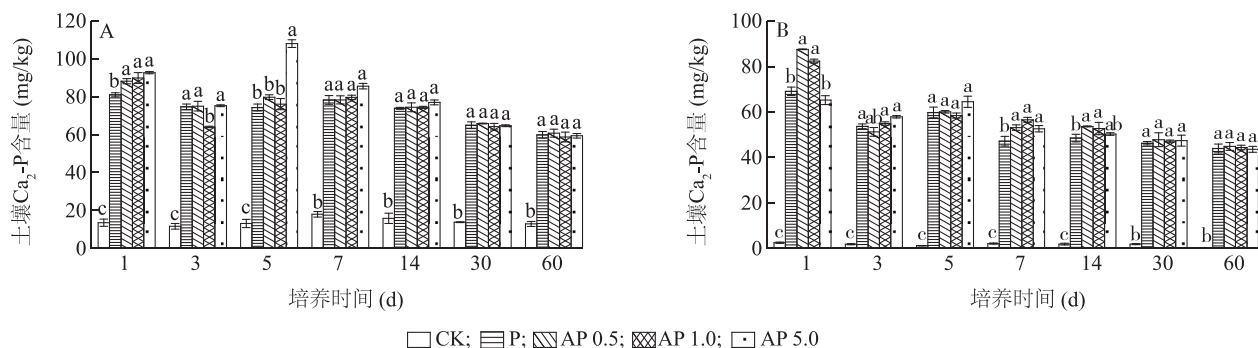
图1 氨基酸增值磷肥对不同深度土层中土壤有效磷含量的影响

Fig.1 Effects of amino acid value-added phosphorus fertilizer on available phosphorus content in different soil layers

2.3 氨基酸增值磷肥对土壤 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 含量的影响

从图2可见,不同土层P、AP0.5、AP1.0、AP5.0处理土壤中 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 含量与CK相比均显著提高,但是从整个培养期看,P、AP0.5、AP1.0、AP5.0处理土壤中 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 含量后期低于前期,且均在第60 d达到最低点。0~20 cm 土层(图2A),P、AP0.5、AP1.0、AP5.0处理在7~60 d期间 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 含量呈逐渐下降之势;AP5.0处

理在第5 d时显著高于P处理。40~60 cm 土层(图2B),P处理和AP0.5处理在14~60 d期间 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 含量呈逐渐下降之势;AP1.0处理和AP5.0处理在5~60 d期间 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 含量呈逐渐下降之势;AP0.5、AP1.0、AP5.0处理在第7 d时显著高于P处理。该研究结果表明,施用氨基酸增值磷肥增加不同土层土壤中 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 含量的效果均体现在前期。



A: 0~20 cm 土层土壤 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 含量; B: 40~60 cm 土层土壤 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 含量。CK、P、AP0.5、AP1.0和AP5.0见表2注。同一培养时间图柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

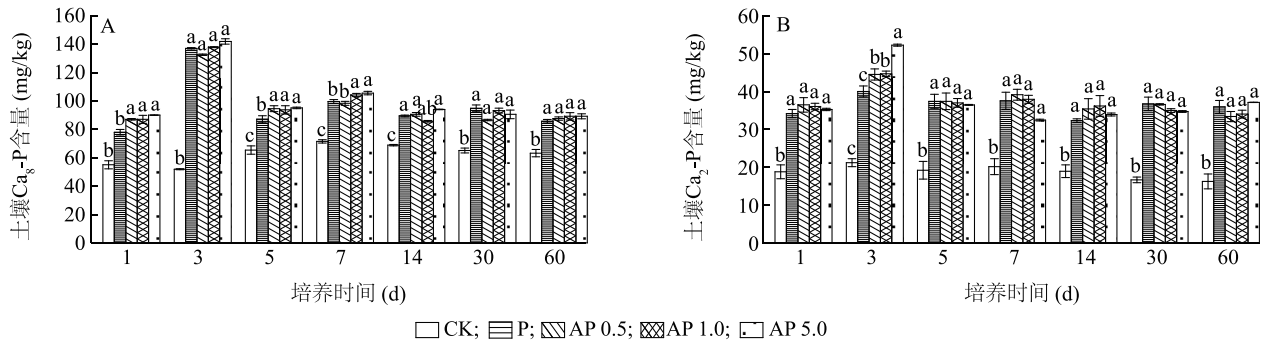
图2 氨基酸增值磷肥对不同深度土层中土壤 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 含量的影响

Fig.2 Effects of amino acid value-added phosphorus fertilizer on $\text{Ca}_2\text{-P}$ content in different soil layers

2.4 氨基酸增值磷肥对土壤 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量的影响

由图3可以看出,不同土层P、AP0.5、AP1.0、AP5.0处理土壤中 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量与CK相比均显著提高,但是从整个培养期看,P、AP0.5、AP1.0、AP5.0处理土壤中 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量后期低于前期。在0~20 cm 土层中(图3A),P、AP0.5、AP1.0、AP5.0处理在第3 d时 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量达峰值,随后呈波动下降之势;

AP1.0、AP5.0处理在第60 d达最低值,AP0.5在第30 d时 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量最低;第1 d和第5 d时AP0.5、AP1.0、AP5.0处理 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量显著高于P处理。40~60 cm 土层(图2B),P、AP0.5、AP1.0、AP5.0处理在第3 d时 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量达峰值,5~60 d期间P、AP0.5、AP1.0、AP5.0处理土壤中 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量变化相对平缓。



A: 0~20 cm 土层土壤 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量; B: 40~60 cm 土层土壤 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量。CK、P、AP0.5、AP1.0和AP5.0见表2注。同一培养时间图柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

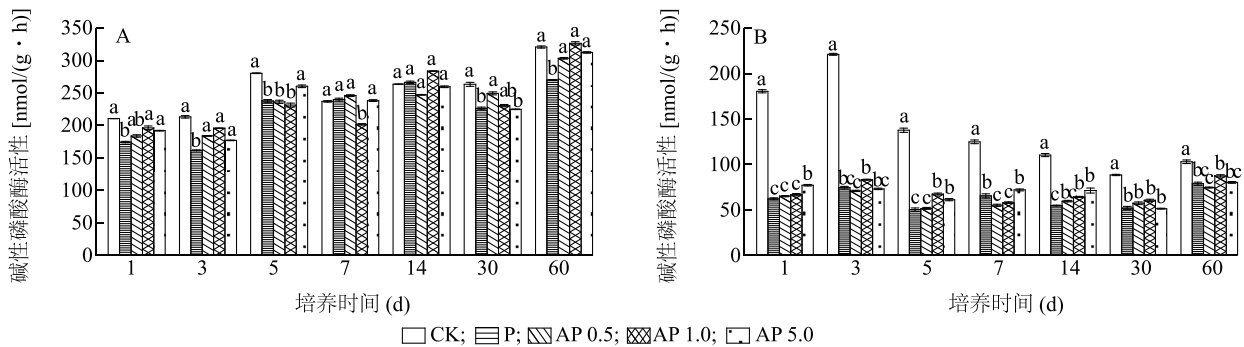
图3 氨基酸增值磷肥对不同深度土层中土壤 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量的影响

Fig.3 Effects of amino acid value-added phosphorus fertilizer on $\text{Ca}_8\text{-P}$ content in different soil layers

2.5 氨基酸增值磷肥对土壤碱性磷酸酶活性的影响

由图4A可见,在0~20 cm土层中,从整个培养周期看,各处理土壤碱性磷酸酶活性呈波动上升趋势,并且都在第60 d达到峰值。培养第3 d和第60 d时,AP0.5、AP1.0、AP5.0处理较P处理土壤碱性磷酸酶活性显著升高,培养5 d时,AP5.0处理土壤

碱性磷酸酶活性较P处理显著增加。由图4B可见,在40~60 cm土层中,与CK相比,P、AP0.5、AP1.0、AP5.0处理土壤碱性磷酸酶活性均显著下降。从整个培养周期看,CK呈先上升后大幅度下降再微升的趋势;其余各处理波动较多,但均在第60 d时达峰值。



A: 0~20 cm 土层土壤碱性磷酸酶活性; B: 40~60 cm 土层土壤碱性磷酸酶活性。CK、P、AP0.5、AP1.0和AP5.0见表2注。同一培养时间图柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

图4 氨基酸增值磷肥对土壤碱性磷酸酶活性的影响

Fig.4 Effects of amino acid value-added phosphorus fertilizer on soil alkaline phosphatase activity

3 讨论

3.1 氨基酸增值磷肥对土壤 pH 和有效磷含量的影响

土壤 pH 是衡量土壤养分有效性的重要依据^[24]。本试验结果显示在0~20 cm土层中从培养7 d开始,3种氨基酸增值磷肥处理的土壤 pH 值显著低于普通磷肥处理,这与付文杰等^[25]和刘博等^[26]的研究结果一致。可能是因为氨基酸在土壤中的半衰期仅为1~12 h^[27],极易被土壤微生物水解生成酸

性物质,降低土壤 pH 值;这也许是其能够提高磷肥有效性的原因之一。本研究结果显示,氨基酸增值磷肥处理在培养前期增加土壤有效磷含量较后期效果更好,减少了磷素在土壤中的固定,从而提高土壤供磷水平,并且这种增加趋势在40~60 cm土层中比0~20 cm土层中效果更好。这可能是因为氨基酸进入土壤后,经过一段时间会改善土壤环境,促进难溶性磷的活化,从而提高磷的利用效率。另一方面,氨基酸可以在微生物的作用下分解成有机酸,然后与土壤中金属元素(如钙、铁、铝等)形成络合物,减少

磷的固定,提高磷的利用效率^[28-29]。而下层土壤扰动较小,并且植物主要吸收耕层土壤养分,所以氨基酸增值磷肥对40~60 cm 土层土壤有效磷增加量要优于0~20 cm 土层,这也侧面表明了氨基酸增值磷肥可以增加土壤中磷素的保蓄能力。但在培养后期(30~60 d),氨基酸增值磷肥处理的土壤有效磷含量下降。这可能是因为氨基酸对磷肥的增值能力持效时间大概在30 d 左右^[30]。

3.2 氨基酸增值磷肥对土壤无机磷形态的影响

对于无机磷形态的划分体系,目前主要接受的是蒋柏藩等^[22]的土壤无机磷形态分级体系。针对这一分级体系,经过学术界的持续研究,已得出结论认为 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 是速效性磷的来源,而 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 则属于缓释磷,其释放速度可随作物对磷素的吸收以及土壤有效磷含量的降低而逐渐增加。在本研究所选用的土壤培养条件下,氨基酸增值磷肥对土壤中 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 和 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 含量有一定影响。这可能是因为氨基酸与磷肥混合后,土壤局部磷酸根浓度降低,使磷酸根离子与金属离子接触的时间和空间发生了变化,减少了土壤对磷的固定,增加了磷的有效性^[31]。目前关于氨基酸对改性磷肥及改性后磷肥在土壤中形态转化的研究报道还不够充分,本研究仅选取了 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 和 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 作为研究对象,关于氨基酸增值磷肥对缓效性磷源(Al-P 和 Fe-P)的影响尚需进一步研究论证。

3.3 氨基酸增值磷肥对土壤碱性磷酸酶活性的影响

磷酸酶有助于将土壤中的有机磷转化为植物可以吸收利用的无机磷,从而增强土壤中磷素的有效性,在土壤磷素转化中起着重要作用^[32-33]。土壤微生物多样性和肥力水平的重要生物学指标之一就是其活性^[34-42]。本研究结果表明,氨基酸增值磷肥与普通磷肥相比总体上提高了土壤碱性磷酸酶活性。这可能是因为氨基酸增效剂的添加促进了含碳化合物的水解,诱导了碱性磷酸酶的合成^[43],并且氨基酸作为小分子有机化合物,可在短期内改变土壤碳氮比,促进土壤微生物活性,提高土壤中有机磷的含量,增强碱性磷酸酶活性,这与周俊国等^[44]关于碱性磷酸酶活性与土壤微生物呼吸量和总生物量呈显著相关的结果相似。

土壤酶对土壤肥力和其他外部环境因素的敏感性较高,不同深度土层中土壤酶活性存在差异^[45]。本研究结果显示,施用氨基酸增值磷肥对不同深度土层中土壤碱性磷酸酶活性影响各异,0~20 cm 土

层的土壤碱性磷酸酶活性普遍高于40~60 cm 土层。这可能是由于0~20 cm 土层中土壤肥力较高,有机质含量丰富,微生物数量众多,微生物活动强烈,导致碱性磷酸酶活性升高^[46-48]。相反,40~60 cm 土层中的土壤碱性磷酸酶活性较低。就整个培养期而言,氨基酸增值磷肥处理的土壤碱性磷酸酶活性与普通磷肥处理的差异达到显著的天数并不多,这可能是因为氨基酸作为一类速效性肥料增效剂被快速利用,使微生物无法摄取持续能源进行大量繁殖,导致合成碱性磷酸酶的能力减弱。

4 结 论

氨基酸增值磷肥在不同土层不同培养时间可改善土壤物理环境,减少磷素固定,提高土壤有效磷含量,增加土壤碱性磷酸酶活性。但不同氨基酸添加量(0.5%、1.0%和5.0%)对磷肥在土壤中转化和碱性磷酸酶活性的影响有所不同。与施用普通磷肥相比,施用氨基酸增值磷肥的土壤pH从第7 d 开始显著降低。不同深度土层中,氨基酸增值磷肥对土壤碱性磷酸酶活性的促进作用表现不一,总的来说,以1.0%氨基酸和5.0%氨基酸添加量的氨基酸增值磷肥作用效果更好。

参考文献:

- [1] 王庆仁,李继云. 论合理施肥与土壤环境的可持续性发展[J]. 环境科学进展,1999(2):117-125.
- [2] BALEMI T, NEGISHO K. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review[J]. Journal of Soil Science & Plant Nutrition, 2012(12):547-562.
- [3] ZHU J, LI M, WHELAN M. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: a review[J]. Science of the Total Environment, 2018,612:522-537.
- [4] MARTIN B, TEGAN D, RICHARD H. Phosphorus use efficiency and fertilizers: future opportunities for improvements[J]. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2019,6(4):332-340.
- [5] 刘建中,李振声,李继云. 利用植物自身潜力提高土壤中磷的生物有效性[J]. 生态农业研究,1994(1):18-25.
- [6] 刘世亮,介晓磊,李有田,等. 作物根际土壤有机磷的分组及有效性研究[J]. 河南农业大学学报,2002,35(1):27-31.
- [7] 王庆仁,李继云,李振声. 植物高效利用土壤难溶态磷研究动态及展望[J]. 植物营养与肥料学报,1998(2):107-116.
- [8] 程传敏,曹翠玉. 水旱轮作中不同类型土壤无机磷形态转化及其有效性的比较[J]. 南京农业大学学报,1996(4):35-39.
- [9] 王一锟,蔡泽江,冯 固. 不同磷肥调控措施下红壤磷素有效

- 性和利用率的变化[J]. 土壤学报, 2023, 60(1): 235-246.
- [10] 许秀成, 王好斌, 李荷萍. 包裹型缓释/控制释放肥料专题报告第三报 包裹(包裹)型控制释放肥料各国研究进展 1. 美国、加拿大; 2. 日本[J]. 磷肥与复肥, 2000(6): 7-12.
- [11] 刘可星, 代明, 王艳, 等. 腐殖酸类活化剂对磷铵、钙镁磷肥的促释增效研究[J]. 腐殖酸, 2010(3): 14-16, 21.
- [12] 杨凯, 关连珠, 颜丽, 等. 外源腐殖酸对三种土壤磷吸附与解吸特性的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(7): 1303-1307.
- [13] 李军, 袁亮, 赵秉强, 等. 磷肥中腐殖酸添加比例对玉米产量、磷素吸收及土壤速效磷含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(3): 641-648.
- [14] 陈景明. 海藻肥在作物生产上的应用[J]. 安徽农业科学, 2005(9): 1730-1731.
- [15] ALVAREZ R, EVANS L A, MILHAM P J, et al. Effects of humic material on the precipitation of calcium phosphate[J]. Geoderma, 2004, 118(3/4): 245-260.
- [16] 李志坚, 林治安, 赵秉强, 等. 增值磷肥对潮土无机磷形态及其变化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(5): 1183-1191.
- [17] 张健. 氨基酸发酵尾液对水溶肥料的增效作用与机理研究[D]. 济南: 山东农业大学, 2017.
- [18] 刘洪芳. 海藻提取物对红壤磷的形态和有效性的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [19] 周红梅, 黄成星, 段成鼎, 等. 海藻提取物对石灰性土壤无机磷组分及速效磷的影响[J]. 山东农业科学, 2008(6): 73-76.
- [20] SHARIF M, CHAUDHLY M, LATIF A. Suppression of superphosphate-phosphorus fixation by farmyard manure. 11. Some studies on mechanisms[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1974(20): 395-401.
- [21] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [22] 蒋柏藩, 顾益初. 石灰性土壤无机磷分级体系的研究[J]. 中国农业科学, 1989(3): 58-66.
- [23] AI C, LIANG G Q, SUN J W, et al. Responses of extracellular enzyme activities and microbial community in both the rhizosphere and bulk soil to long-term fertilization practices in a fluvo-aquic soil[J]. Geoderma, 2012(173): 330-338.
- [24] 黄文鹏. 不同氮磷钾肥对土壤 pH 和镉有效性的影响[J]. 山东工业技术, 2015(20): 267.
- [25] 付文杰, 张荣, 张文辉, 等. 氨基酸对三种石灰性土壤磷素有效性的影响及其作用差异机制[J]. 土壤通报, 2021, 52(5): 1193-1202.
- [26] 刘博, 雒沛文, 齐永波, 等. 氨基酸增效磷肥对黄褐土磷有效性的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(4): 269-272.
- [27] 聂铭. 氨基酸对杨梅花色苷稳定性的影响及相互作用研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2023.
- [28] BOLAN N S, SYERS J K, TILLMAN R W. Ionic strength effects on surface charge and adsorption of phosphate and sulphate by soils[J]. European Journal of Soil Science, 1986, 37(3): 379-388.
- [29] BRADY N C, WEIL R R. The nature and properties of soils[M]. New Jersey, USA: Prentice-Hall Inc, 1996.
- [30] 程林, 章力干, 张国漪, 等. 氨基酸增值尿素对水稻苗期生长及根际微生物菌群的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(1): 35-44.
- [31] 者渝芸. 长期不同管理方式土壤和磷对硒吸附解吸的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [32] 于姣姐, 殷丹阳, 李莹, 等. 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.
- [33] 任美霖, 王绍明, 张霞, 等. 准噶尔盆地南缘 2 种禾本科植物根鞘土壤理化性质、微生物数量及土壤酶活性研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(5): 227-231.
- [34] 王政, 刘威, 王阁, 等. 土壤含水量对滇中植烟土壤氮素矿化及微生物功能多样性的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(21): 239-248.
- [35] 张传利, 李学俊, 谢纯, 等. 不同坡向对小粒咖啡根际土壤理化性质和微生物群落的影响[J]. 南方农业学报, 2023, 54(12): 3527-3537.
- [36] 李其胜, 杨凯, 蒋伟勤, 等. 有机(类)肥料对作物产量、土壤养分及土壤微生物多样性的影响[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(8): 1772-1783.
- [37] 李诗, 张俊辉, 胡钧铭, 等. 有机肥等氮替代对双季稻根区土壤结构环境及根活力的影响[J]. 南方农业学报, 2023, 54(11): 3206-3216.
- [38] 秦广利. 添加外源有机物对小麦甘薯轮作土壤碳氮、微生物菌群变化及代谢活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(18): 206-214.
- [39] 马澜, 邱黛玉, 巫蓉, 等. 栽培模式对党参根际土壤微生物功能多样性的影响[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(5): 1132-1139.
- [40] 刘威, 夏雨, 吕自敏, 等. 豫南不同树龄茶园土壤微生物群落结构及多样性分析[J]. 南方农业学报, 2023, 54(5): 1455-1464.
- [41] 游琪, 杨启良. 不同排水体对三七生长、土壤养分及根区土壤微生物的影响[J]. 排灌机械工程学报, 2022, 40(9): 959-965, 972.
- [42] ANDERSON M J, CRIST T O, CHASE J M, et al. Navigating the multiple meanings of β diversity: a roadmap for the practicing ecologist[J]. Ecology Letters, 2011, 14(1): 19-28.
- [43] 刘淑英. 有机无机肥配施对灌耕灰钙土碱性磷酸酶和土壤磷素的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(3): 670-675.
- [44] 周俊国, 杨鹏鸣. 不同肥料对土壤脲酶和碱性磷酸酶活性的影响[J]. 西南农业学报, 2012, 25(2): 577-579.
- [45] 王理德. 民勤退耕区次生草地植被及土壤系统演变研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [46] 樊军, 郝明德. 旱地黑垆土剖面酶活性分布特征与生育期变化[J]. 土壤通报, 2003(5): 444-447.
- [47] 韦家少, 何鹏, 吴敏, 等. 不同土壤类型橡胶林地土壤肥力及酶活性的特征[J]. 热带作物学报, 2010, 31(1): 6-13.
- [48] 王彬. 含葡萄糖氮、磷肥在石灰性潮土中的转化特征及其肥效研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.

(责任编辑: 黄克玲)