

梁运江, 李安淮, 傅民杰, 等. 磷素增效剂对壤土果园速效磷及无机磷的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(12): 356–359.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.12.121

# 磷素增效剂对壤土果园速效磷及无机磷的影响

梁运江, 李安淮, 傅民杰, 许广波, 刘海峰

(延边大学农学院, 吉林延吉 133002)

**摘要:** 为了提高磷肥利用率, 以延边地区苹果梨园的壤土为试验材料, 通过室内培养的方法, 研究生化黄腐酸、草酸和 EDTA 对苹果梨园土壤速效磷含量及土壤无机磷组分的影响。结果表明, 3 种增效剂都能在一定时期内有效地增加壤土中速效磷、 $\text{Ca}_2\text{-P}$  和  $\text{Fe-P}$  的含量; 对于  $\text{Ca}_8\text{-P}$  和  $\text{Al-P}$ , 前期抑制其含量的增加, 后期则有促进作用; 与不施增效剂相比, 3 种增效剂在整个培养期内都有效地抑制了  $\text{O-P}$  的生成。增效作用较好的为生化黄腐酸:  $\text{P}_2\text{O}_5 = 1:2$  和草酸:  $\text{P}_2\text{O}_5 = 1:4$  混合, 3 种增效剂的综合增效作用顺序为生化黄腐酸 > 草酸 > EDTA。

**关键词:** 增效剂; 果园土; 速效磷; 无机磷分级

**中图分类号:** S143.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)12-0356-04

我国农业磷肥利用率较低<sup>[1]</sup>, 施入土壤的磷肥当季利用率一般仅有 10% ~ 25%<sup>[2-3]</sup>, 低于发达国家 15 ~ 20 百分点<sup>[4]</sup>, 磷肥施入土壤后 80% 以上被土壤固定<sup>[5]</sup>, 1949—2003 年全国土壤积累磷为 9 000 万 t  $\text{P}_2\text{O}_5$  以上<sup>[6]</sup>, 相当于每年施肥量的几倍到几十倍。没有被植物利用的磷肥还可随土壤的侵蚀而流失, 造成水体污染, 如水体的富营养化<sup>[7-8]</sup>。我国的磷矿资源大部分为中低品位磷矿<sup>[9]</sup>, 磷肥生产成本高。因此提高磷肥利用率, 减少磷肥施用量迫在眉睫。磷肥利用率低的主要原因是水溶性磷在土壤中易与钙、镁、铁、铝、锰等金属离子结合成难溶性的磷化合物<sup>[10]</sup>。因此, 提高磷肥的利用效率和释放土壤中残余磷的有效途径是开发、研制出一种能抵御磷肥被土壤固定的磷肥保护剂和磷素活化剂。本研究选择生化黄腐酸、草酸和 EDTA 3 种磷素增效剂为试验试剂, 以期提高磷肥利用效率和挖掘土壤积累态磷生产潜力, 达到降低农业投入、缓解我国磷肥供需矛盾和减少污染的目的。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

收稿日期: 2014-03-04

基金项目: 延边大学自然科学基金[编号: 延大科合字(2012)第 28 号]。  
作者简介: 梁运江(1972—), 男, 吉林前郭人, 博士, 副教授, 从事土壤与植物营养研究。E-mail: lyjluo@ybu.edu.cn。

供试土壤取自吉林省龙井市三合镇胜迹村禹迹屯果园, 质地为壤土, pH 值为 5.5, 有机质含量为 13.01 g/kg, 速效氮含量为 106.52 mg/kg, 速效磷含量为 59.10 mg/kg, 速效钾含量为 302.67 mg/kg, 全氮含量为 1.11 g/kg, 全磷含量为 0.78 g/kg, 全钾含量为 13.50 g/kg。

生化黄腐酸由上海通微农用生物化工研究所提供, 草酸、EDTA 为国产。

### 1.2 室内培养试验方法

取风干的土壤过 1 mm 筛, 装入 210 mL 的塑料水杯中, 每个水杯装 200 g 土样。将磷素增效剂与磷酸二氢钾混合均匀后施入土中, 置于恒温箱内培养, 温度设定为 25 ℃。定期浇水, 保持土壤水分在田间持水量的 70% 左右。施磷水平按照施  $\text{P}_2\text{O}_5$  量计算为 400 mg/kg, 氮、磷、钾肥按照比例  $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 1:0.5:0.5$  进行施肥<sup>[11]</sup>。生化黄腐酸的施入量设为  $\text{P}_2\text{O}_5$  质量的 50%、100%、200%、400%; 草酸和 EDTA 的施入量设为  $\text{P}_2\text{O}_5$  质量的 25%、50%、100%、200%。每种磷素增效剂分别设 4 个不同浓度处理, 每个处理 3 次重复。在培养 1、5、15、25、40、55 d 后取样测定速效磷含量, 在培养 5、15、25、40、55 d 后取样测定土壤中无机磷含量。试验具体方案见表 1。

### 1.3 测定方法

土壤无机磷含量分组测定采用顾益初-蒋柏藩改进法, 其余项目采用常规方法测定。

- [10] Callahan J, Richter J, Coleman D. Long-term land-use effects on soil invertebrate communities in Southern Piedmont soils, USA[J]. European Journal of Soil Biology, 2006, 42(1): S150–156.
- [11] 高岩, 骆永明. 蚯蚓对土壤污染的指示作用及其强化修复的潜力[J]. 土壤学报, 2005, 42(1): 140–148.
- [12] 史玉菲, 苏越, 张雪萍. 我国土壤动物功能作用的研究进展[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2011, 27(3): 84–88.
- [13] 殷秀琴, 仲伟彦. 羊草草地不同放牧强度下土壤动物的研究[J]. 草业学报, 1997, 6(4): 71–75.
- [14] 陈鹏. 土壤动物的采集和调查方法[J]. 生态学杂志, 1983, 2(3): 46–51.

- [15] Wolda H. Diversity, diversity indices and tropical cockroaches[J]. Oecologia, 1983, 58(3): 290–298.
- [16] Magurran A E. Ecological diversity and its measurement[M]. New Jersey: Prinsation University Press, 1988.
- [17] Minor M A, Cianciolo J M. Diversity of soil mites (Acari: Oribatida, Mesostigmata) along a gradient of land use types in New York[J]. Applied Soil Ecology, 2007, 35(1): 140–153.
- [18] Baker G H. Recognising and responding to the influences of agriculture and other land-use on soil fauna[J]. Applied Soil Ecology, 1998, 9: 303–310.

表 1 土壤室内培养设计

处理编号	增效剂	浓度(增效剂: $P_2O_5$ )
1	无(CK)	0(0:1)
2	生化黄腐酸	50% $P_2O_5$ (生化黄腐酸: $P_2O_5$ = 1:2)
3	生化黄腐酸	100% $P_2O_5$ (生化黄腐酸: $P_2O_5$ = 1:1)
4	生化黄腐酸	200% $P_2O_5$ (生化黄腐酸: $P_2O_5$ = 2:1)
5	生化黄腐酸	400% $P_2O_5$ (生化黄腐酸: $P_2O_5$ = 4:1)
6	草酸	25% $P_2O_5$ (草酸: $P_2O_5$ = 1:4)
7	草酸	50% $P_2O_5$ (草酸: $P_2O_5$ = 1:2)
8	草酸	100% $P_2O_5$ (草酸: $P_2O_5$ = 1:1)
9	草酸	200% $P_2O_5$ (草酸: $P_2O_5$ = 2:1)
10	EDTA	25% $P_2O_5$ (EDTA: $P_2O_5$ = 1:4)
11	EDTA	50% $P_2O_5$ (EDTA: $P_2O_5$ = 1:2)
12	EDTA	100% $P_2O_5$ (EDTA: $P_2O_5$ = 1:1)
13	EDTA	200% $P_2O_5$ (EDTA: $P_2O_5$ = 2:1)

## 2 结果与分析

## 2.1 磷素增效剂对壤土速效磷的影响

由图 1 可以看出,生化黄腐酸在培养的前 40 d,以 50%  $P_2O_5$  浓度处理的速效磷含量较高,40 d 后效果才渐渐消失。草酸处理在培养的前 25 d,100%  $P_2O_5$  浓度处理作用较好,后 30 d 则是 25%  $P_2O_5$  浓度处理作用较好;且在培养 40 d 后,几个草酸处理的速效磷仍呈上升趋势,说明草酸处理在促进土壤磷的释放方面作用较好。EDTA 处理的速效磷含量在整个培养期间呈 W 形变化,可能是因为 EDTA 对磷的释放与土壤对磷的固定存在一个平衡位点,在不同时期土壤对磷的固定和 EDTA 对磷的释放分别占据优势,且处理后的速效磷含量波动较大,甚至在培养 25 d 后,EDTA 处理的速效磷出现了负增长。结合生化黄腐酸和草酸处理效果,推荐 50%  $P_2O_5$  浓度生化黄腐酸和 25%  $P_2O_5$  浓度草酸混合施用。

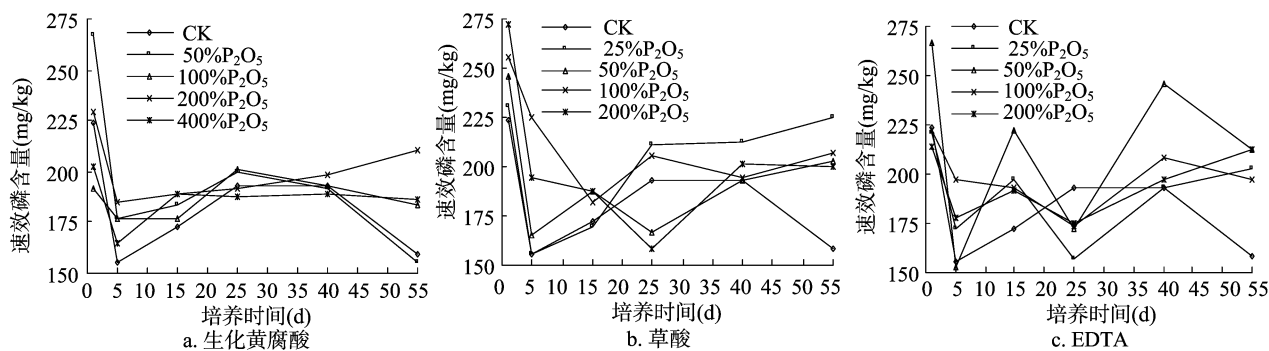
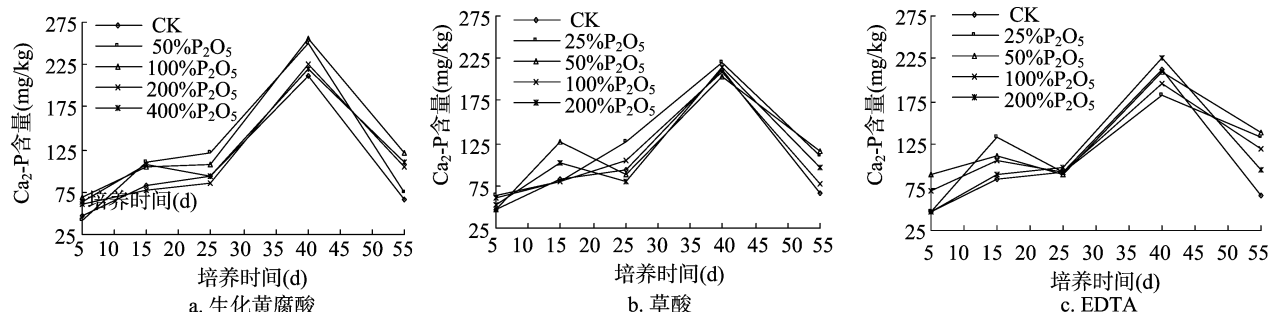


图 1 不同磷素增效剂作用下的室内培养壤土速效磷含量变化

2.2 磷素增效剂对壤土  $Ca_2-P$  的影响

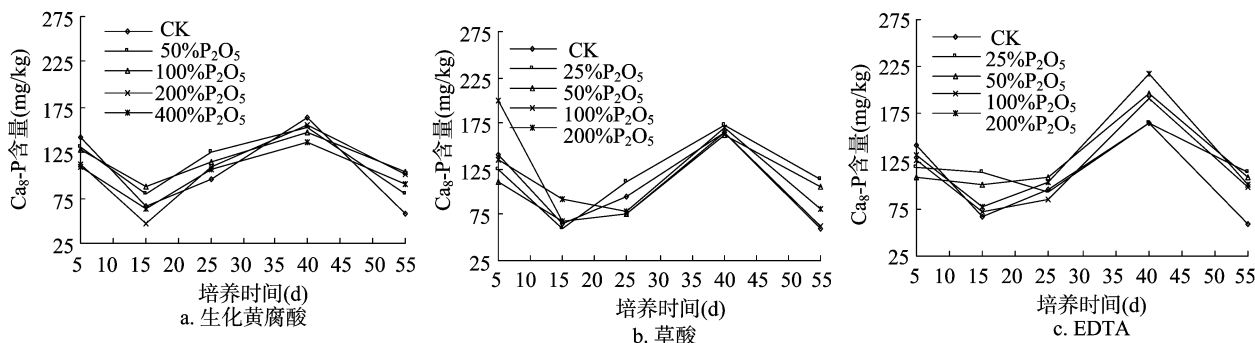
$Ca_2-P$  被认为是最有效的磷源。从图 2 的 CK 处理可以看出,施入磷肥后,土壤中的  $Ca_2-P$  含量呈现先上升后下降的趋势。大部分生化黄腐酸和草酸处理的  $Ca_2-P$  含量均高于 CK; EDTA 处理呈现“上升-下降-上升-下降”的局势,2 个高峰值分别出现在培养 15、40 d。比较生化黄腐酸各浓度

处理,50%  $P_2O_5$  和 100%  $P_2O_5$  2 个浓度处理的  $Ca_2-P$  含量在不同时期分别较高。草酸处理在培养的前 25 d, 50%  $P_2O_5$  浓度处理作用较好,培养的后 30 d 则是 25%  $P_2O_5$  浓度处理作用较好。EDTA 处理能有效地增加土壤中  $Ca_2-P$  含量,但每个浓度处理作用都是时好时坏。3 种增效剂中,前 25 d 草酸处理作用较大,后 30 d 生化黄腐酸作用较大。

图 2 不同磷素增效剂下室内培养壤土  $Ca_2-P$  含量变化2.3 磷素增效剂对壤土  $Ca_8-P$  的影响

$Ca_8-P$  为缓效态磷源。从图 3 可以看出,CK 处理磷肥施入土壤后,迅速转化为  $Ca_8-P$ ,由于  $Ca_8-P$  不稳定,一方面  $Ca_8-P$  向有效性更高的  $Ca_2-P$  转化,另一方面向稳定性更高的  $Ca_{10}-P$  转化。造成前 15 d,  $Ca_8-P$  含量从一个相对较高的水平开始下降。土壤对肥料的快速固定过程结束以后,土壤开始缓慢释放磷酸根离子,  $Ca_8-P$  含量开始回升,培养 40 d 后,  $Ca_8-P$  向  $Ca_{10}-P$  迅速转化,导致  $Ca_8-P$  含量迅速降低。生化黄腐酸处理在前 5 d 有效抑制了  $Ca_8-P$  的生

成,作用较好的浓度为 200%  $P_2O_5$ ,后期作用较差,在培养 40 d 后,各浓度处理的  $Ca_8-P$  含量都出现了负增长。草酸处理无论在前 15 d 的磷素固定期间对  $Ca_8-P$  的抑制,还是 15~40 d 的土壤释放磷的阶段对  $Ca_8-P$  含量的促进,都有较好的作用,且作用最好的浓度处理是 25%  $P_2O_5$ 。通过数值比较发现,EDTA 处理的  $Ca_8-P$  含量明显高于生化黄腐酸和草酸处理,前 25 d 作用较好的浓度为 50%  $P_2O_5$ ,后 30 d 作用较好的浓度为 200%  $P_2O_5$ 。3 种增效剂在培养的前 5 d 都能有效抑制  $Ca_8-P$  的生成,且作用相差不大,在培养的 15~40 d

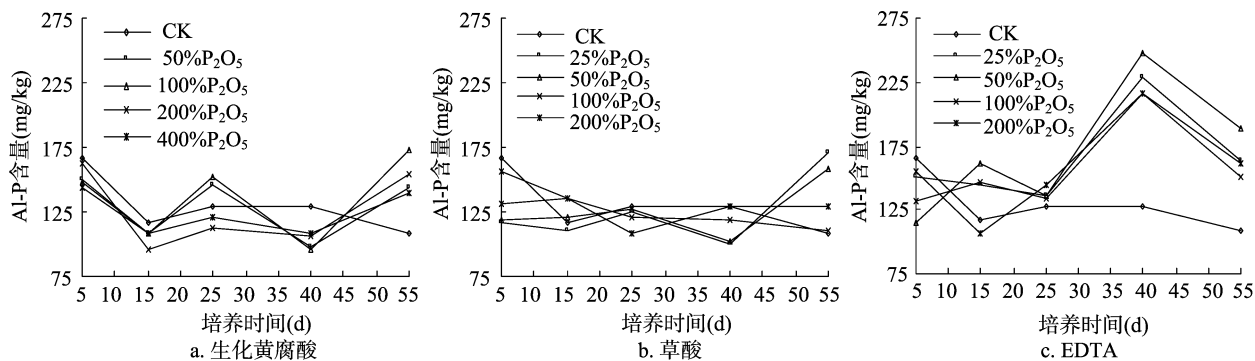
图3 不同增效剂作用下的室内培养壤土  $\text{Ca}_8\text{-P}$  含量变化

为土壤释放磷的阶段,以 EDTA 对  $\text{Ca}_8\text{-P}$  含量增加的促进作用明显高于生化黄腐酸和草酸。

#### 2.4 磷素增效剂对壤土 $\text{Al-P}$ 的影响

$\text{Al-P}$  以无定形和晶质 2 种形态的磷酸铝盐存在于土壤中,在施肥初期,磷肥与铝盐结合的多为无定形态铝盐,随时间延长,晶质磷酸铝盐逐渐增加。无定形态磷酸铝盐有效性较高,晶质磷酸铝盐有效性极低。同  $\text{Ca}_8\text{-P}$  一样,磷肥施入土壤后,磷酸根迅速和土壤中的铝离子结合,形成无定形磷酸铝盐。由于无定形铝盐很不稳定,因此在前 15 d 出现  $\text{Al-P}$

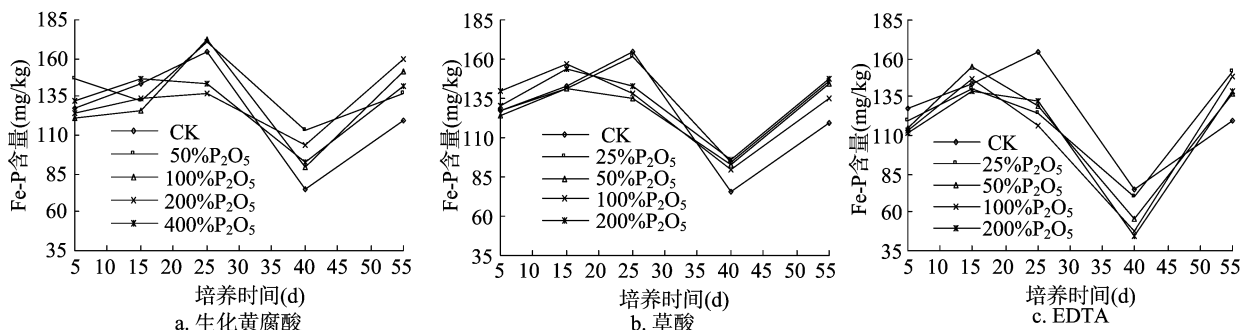
先下降的情况(图 4)。3 种增效剂在前期都抑制磷肥从有效性更高的  $\text{Ca}_2\text{-P}$  向缓效态磷转化,因此前 5 d 对  $\text{Al-P}$  含量存在一定的抑制。后期抑制  $\text{Al-P}$  向无效性更高的  $\text{O-P}$  转化,增效剂处理的  $\text{Al-P}$  略高于 CK。生化黄腐酸和草酸处理对  $\text{Al-P}$  含量的变化都起到了一定的积极作用,但是各浓度处理在不同时期的作用大小没有明显的规律。而 EDTA 的作用要明显好于生化黄腐酸和草酸,并且规律性较好,EDTA 各浓度处理中在整个培养期都以 50%  $\text{P}_2\text{O}_5$  浓度处理的作用较好。

图4 不同磷素增效剂作用下室内培养壤土  $\text{Al-P}$  含量变化

#### 2.5 磷素增效剂对壤土 $\text{Fe-P}$ 的影响

$\text{Fe-P}$  也是一种有效性较高的缓效态磷, $\text{Fe-P}$  的稳定性比  $\text{Al-P}$  高。从图 5 可见, $\text{Fe-P}$  含量在整个培养期内呈现“上升—下降—上升”的趋势,CK 处理施肥培养之初,磷肥没有直接转化成  $\text{Fe-P}$ ,因此  $\text{Fe-P}$  在培养前期处于较低水平,随着培养时间延长, $\text{Al-P}$  慢慢转化成  $\text{Fe-P}$ , $\text{Fe-P}$  量才开始增加。培养 25 d 后, $\text{Fe}^{2+}$  被氧化,形成  $\text{O-P}$ , $\text{Fe-P}$  含量迅速下降,培养 40 d 后,随着  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$  等向  $\text{Fe-P}$  的

转化, $\text{Fe-P}$  含量开始回升。生化黄腐酸处理能有效地增加土壤中  $\text{Fe-P}$  的含量,各浓度处理作用相差不大,相对较好的浓度为 50%  $\text{P}_2\text{O}_5$ 。草酸和 EDTA 处理的作用明显低于生化黄腐酸处理,草酸各浓度处理在培养 25 d 的  $\text{Fe-P}$  的含量都低于 CK 处理,EDTA 各浓度处理在培养 25、40 d 的  $\text{Fe-P}$  的含量都低于 CK 处理。比较培养 25 d 的数值,3 种增效剂促进  $\text{Fe-P}$  含量增加的顺序是生化黄腐酸 > 草酸 > EDTA。

图5 不同磷素增效剂作用下室内培养壤土  $\text{Fe-P}$  含量变化

## 2.6 磷素增效剂对壤土 O-P 的影响

O-P 被认为是无效态磷。由图 6 可以看出, O-P 呈现先下降后上升再下降的趋势, 可能是因为土壤含水量突然增高, 导致部分 O-P 发生还原反应, 释放土壤中原有的一部分磷; 随着时间延长, 土壤中 Fe 元素氧化, 培养 25~40 d, 土壤中的 O-P 含量急剧增加; 而培养 40 d 后, O-P 含量减少的

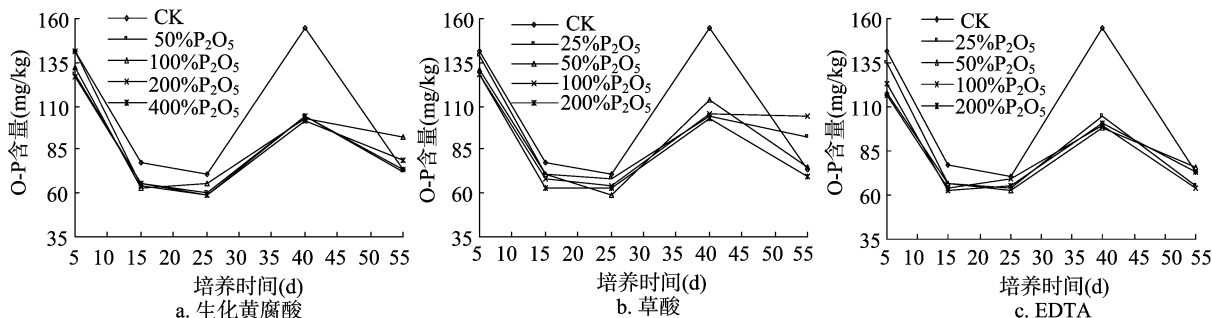


图6 不同磷素增效剂作用下的室内培养壤土 O-P 含量变化

## 2.7 磷素增效剂对壤土 Ca<sub>10</sub>-P 的影响

由图 7 可以看出, Ca<sub>10</sub>-P 在培养的前 40 d 变化不大, 含量略有下降, 40 d 后含量明显上升。在培养前 5 d, 3 种增效剂抑制 Ca<sub>8</sub>-P 的生成, 也客观地造成了培养前期各增效剂处理的 Ca<sub>10</sub>-P 含量高于 CK 处理, 而后期增效剂处理都在一定程度抑制了 Ca<sub>10</sub>-P 的生成, 5 d 后都抑制 Ca<sub>10</sub>-P 的生成。

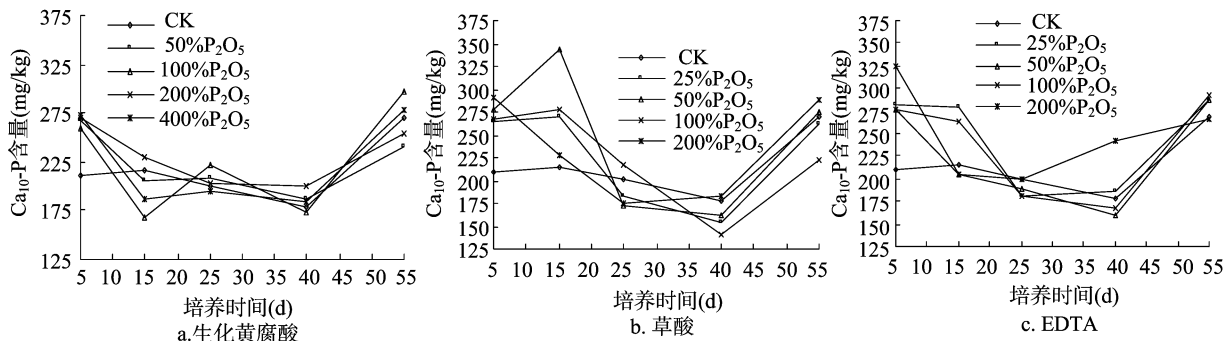


图7 不同磷素增效剂作用下的室内培养壤土 Ca<sub>10</sub>-P 含量变化

## 3 结论

3 种增效剂都能有效地增加壤土中速效磷、Ca<sub>2</sub>-P 和 Fe-P 的含量; 对于 Ca<sub>8</sub>-P 和 Al-P, 前期抑制其含量的增加, 后期则有促进作用。与不施增效剂相比, 3 种增效剂在整个培养期内都有效地抑制了 O-P 的生成。壤土中增效作用较好的为 50% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 生化黄腐酸和 25% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 草酸。3 种增效剂的综合增效作用顺序为生化黄腐酸 > 草酸 > EDTA。

### 参考文献:

- [1] 沈善敏. 论我国磷肥生产与应用对策(一)[J]. 土壤通报, 1985 (3): 97-103.
- [2] 鲁如坤, 时正元, 顾益初. 土壤积累态磷研究 II. 磷肥的表观积累利用率[J]. 土壤, 1995, 27(6): 286-289.
- [3] 梁运江, 依艳丽, 许广波, 等. 水肥耦合效应对保护地辣椒肥料氮、磷经济利用效率的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(6): 1141-

原因尚不清楚, 需要进一步的试验进行探究。3 种增效剂在整个培养期内都有效地抑制了 O-P 的生成, 且效果相差不大, EDTA 处理的 O-P 含量略低于生化黄腐酸和草酸处理。比较增效剂不同浓度处理, 生化黄腐酸作用较好的浓度为 50% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 草酸处理作用较好的浓度为 200% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 而 EDTA 则以 100% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 浓度处理作用较好。

生化黄腐酸作用较好的浓度为 100% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>。3 种增效剂中, 生化黄腐酸的作用明显好于草酸和 EDTA, 生化黄腐酸在培养 15 d 后对 Ca<sub>10</sub>-P 含量已经起到抑制作用, 而草酸和 EDTA 对 Ca<sub>10</sub>-P 含量还处于促进阶段。3 种增效剂中, 生化黄腐酸最早出现对 Ca<sub>10</sub>-P 的抑制作用, 后期 3 种增效剂的抑制作用相差不大。

1144.

- [4] 吴欢欢, 李若楠, 张彦才, 等. 我国缓/控释肥料发展现状、趋势及对策[J]. 华北农学报, 2009, 24(增刊): 263-267.
- [5] 刘晓丽. 不同施肥措施对土壤磷素有效性影响研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2007.
- [6] 李见云, 化全县, 牛俊玲, 等. 磷肥增效技术研究进展[J]. 磷肥与复肥, 2007, 22(5): 64-65, 67.
- [7] 金相灿. 中国湖泊富营养化[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 267-322.
- [8] 高超, 张桃林, 吴蔚东. 农田土壤中的磷向水体释放的风险评价[J]. 环境科学学报, 2001, 21(3): 344-348.
- [9] 柳正. 我国磷矿资源的开发利用现状及发展战略[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2006, 52(1): 21-23.
- [10] 李淑仪, 蓝佩玲, 廖新荣, 等. 玄武岩砖红壤磷肥活化效果及其机理研究[J]. 土壤与环境, 2001, 10(4): 311-315.
- [11] 朴顺姬, 朴宇, 朱虎烈, 等. 不同氮磷钾比例对苹果梨品质的影响[J]. 吉林农业科学, 2002, 27(2): 30-34.