

黄腐酸对肥料磷有效性及苹果砧木幼苗磷吸收利用的影响

刘晶晶, 刘晓霞, 彭玲, 王芬, 葛顺峰*, 姜远茂*

(山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018)

摘要 [目的]探索在不同黄腐酸水平下苹果砧木 M9-T337 幼苗的生物量、根系形态、根系活力及其对根际土壤酶活性、速效磷含量与磷利用率的影响,为促进苹果砧木的生长及提高磷利用率提供科学依据。[方法]以 1 年生 M9-T337 幼苗为材料,采用土壤盆栽试验研究不同黄腐酸水平下苹果砧木吸收利用磷的能力。[结果]不同黄腐酸水平显著影响了苹果砧木 M9-T337 的根系总长度、根系总面积、根尖数和根系活力,随黄腐酸水平升高均呈先升高后降低的趋势;根际土壤的酸性磷酸酶活性随黄腐酸水平升高呈先升高后降低的趋势,在 H₂ 处理时达到最高,CK 最低;根际土壤速效磷含量变化趋势与之相同。M9-T337 的生物量、磷积累量与磷利用率与其根系活力、根系形态及根际土壤酸性磷酸酶活性对黄腐酸水平的响应规律一致。[结论]施用适量黄腐酸(100 kg/hm²)可显著促进苹果砧木 M9-T337 根系生长,提高根系活力,增强根际土壤酸性磷酸酶活性,从而提高幼苗根系对磷的吸收与利用。

关键词 磷;苹果;黄腐酸;土壤酶

中图分类号 S661.1 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)25-0122-03

Effect of Fulvic Acid on Phosphorus Availability and Phosphorus Absorption and Utilization of Apple Stock Seedlings

LIU Jing-jing, LIU Xiao-xia, PENG Ling et al (College of Horticultural Science and Engineering, Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018)

Abstract [Objective] To explore the biomass, root morphology and root activity of M9-T337 seedlings under different levels of fulvic acid and its effects on enzyme activity in rhizosphere soil, content of available phosphorus and utilization of phosphorus, in order to provide scientific basis for promoting the growth of apple rootstock seedlings and improving the utilization of phosphorus. [Method] The capacity of phosphorus absorption and utilization of M9-T337 under different levels of fulvic acid was studied by soil pot experiment with the annual M9-T337 seedlings as material. [Result] The total root length, total root area, root tip number and root activity of M9-T337 were significantly affected by different levels of fulvic acid. The acid phosphatase activity in rhizosphere soil increased first and then decreased with the increase of the level of fulvic acid. The activity of acid phosphatase in rhizosphere soil increased first and then decreased with the level of fulvic acid, which reached the highest in H₂ treatment and lowest in CK treatment, the trend of available phosphorus content was the same as that. Biomass, phosphorus accumulation and phosphorus utilization rate of M9-T337 were consistent with the responses of root activity, root morphology and acid phosphatase activity of rhizosphere soil to fulvic acid level. [Conclusion] The application of a proper amount of fulvic acid (100 kg/hm²) could significantly promote the growth of root system of apple rootstock, increase root activity and increase the activity of acid phosphatase in rhizosphere soil, so as to improve the absorption and utilization of phosphorus in apple seedlings.

Key words Phosphorus; Apple; Fulvic acid; Soil enzyme

磷是作物生长所必需的三大营养元素之一。农业生产中长期大量施用磷肥导致土壤磷大量累积^[1],由于土壤吸附和固定磷的容量很大,磷在土壤中很难移动^[2-4]。积累在土壤中的磷,因其溶解性差,无法满足一般作物的生长需要,加之磷肥当季利用率低,为 10%~25%^[5-6],使得肥料在日常农业生产中利用率偏低,限制了农业生产力的提高^[7-8];同时,土壤中磷大量积累,导致磷的淋失强度大大增强,使地表水出现严重的富营养化^[9]。黄腐酸是腐殖酸中一个分子量低的水可溶成分,一种天然的高分子有机酸,是有机肥中的活性成分,施入土壤后可以提高土壤团聚体含量,改善土壤结构。安志装等^[10]研究表明,在土壤中添加腐殖酸类物质不仅能够阻碍施入水溶性磷的固定,在一定程度上可以刺激土壤中微生物的活性,活化土壤中原有的磷;杨金娟等^[11]研究表明,黄腐酸与无机化肥配合施用可提高土壤养分的有效性;研究表明,黄腐酸能通过影响根细胞的增殖速度显著促

进植株根系生长,增加根系生物量,提高根系活力^[12];庄振东等^[13]研究认为,腐殖酸肥能显著提高玉米的肥料利用率,促进玉米对土壤养分的吸收利用,减少养分淋溶损失。笔者研究黄腐酸对肥料磷有效性及苹果砧木幼苗磷吸收利用的影响,为促进苹果砧木的生长及提高磷利用率提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验于 2017 年 3—9 月在山东农业大学园艺试验站及国家苹果工程技术研究中心实验室进行。以 1 年生 M9-T337 幼苗为试材。盆栽土壤为烟台苹果园棕壤土,基本理化性状:有机质 12.60 g/kg、pH 6.84、碱解氮 68.82 mg/kg、速效磷 20.94 mg/kg、速效钾 43.59 mg/kg。

1.2 试验设计 设置适宜磷(100 kg/hm²)水平下 4 个黄腐酸水平:CK(0 kg/hm²)、H₁(50 kg/hm²)、H₂(100 kg/hm²)、H₃(200 kg/hm²)。供试黄腐酸为嘉有生命源黄腐酸液体肥,其中黄腐酸含量为 23.3%,pH 5.8。试验开始前将培养土自然风干敲碎,过 2 cm 筛。培养土在盆栽前将 N 和 K 的含量补充调整一致,仅处理间磷含量不同。3 月中旬将配肥后不同处理的培养土充分搅拌均匀后装入长×宽×高为 30 cm×30 cm×40 cm 的塑料花盆中,每盆装土 15 kg,然后栽种砧木苗,每盆 1 株,每个处理 9 个重复。移栽后缓苗 7 d,一次施入不同处理的黄腐酸。之后正常管理,每隔 5 d 浇 1 次水。盆栽苹果砧木苗于 9 月初进行取样,选取 5 株平均大小的砧

基金项目 国家自然科学基金项目(31501713);国家重点研发计划项目(2016YFD0201100);国家重点研发计划项目(2017YFD0200200/08)。

作者简介 刘晶晶(1991—),女,山东临沂人,硕士研究生,研究方向:果树营养生理。*通讯作者:葛顺峰,讲师,博士,从事果树营养生理研究;姜远茂,教授,博士,博士生导师,从事果树营养生理和土壤肥力研究。

收稿日期 2018-04-12;修回日期 2018-05-15

木,用抖土法^[14]获得根际土,将其收集在无菌自封塑料袋中封好,放入冰盒内。将根际土迅速带回实验室进行自然风干后去杂,过 1 mm 筛后用于测定土壤磷酸酶活性和速效磷含量。取土后的砧木洗净后将植株分成根、茎和叶 3 部分,样品于 105 ℃ 杀青 30 min,80 ℃ 烘干至恒重,称量各器官的干物质质量。随后用不锈钢电磨粉碎,过 0.25 mm 筛后测定各器官吸磷量。

1.3 测定项目与方法 根系活力用氯化三苯基四氮唑 (TTC) 还原法测定,以单位鲜重根系还原的 TTC 量表示。用 WinRHIZO 根系分析软件进行根系长度、根总表面积、根系总长度分析。酸性磷酸酶活性用磷酸苯二钠比色法测定,以 1 g 根际土 24 h 释放酚的毫克数表示。

1.4 数据统计与处理 植株磷积累量 (mg/株) = 磷浓度 (mg/g) × 植株干物质重 (g/株)

植株磷利用率 (g/mg) = 植株干物质重 (g) / 吸磷量 (mg)

采用 Microsoft Excel 2003 进行数据统计并绘制图表,用 SPSS 软件对试验数据进行方差分析和显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同黄腐酸处理对 M9-T337 幼苗生物量的影响 由表 1 可知,不同黄腐酸处理苹果砧木 M9-T337 各器官生物量差异显著,M9-T337 根、茎、叶的生物量与总生物量均呈先升高后降低的趋势,H₂ 处理最大,CK 最小。适宜磷水平下,H₂

处理砧木根、茎、叶的生物量与植株总生物量比 CK 分别提高了 69.51%、36.14%、42.64% 和 43.97%。表明适量施用黄腐酸能提高 M9-T337 幼苗的生物量,过量施用黄腐酸会抑制 M9-T337 幼苗的生长。

表 1 不同黄腐酸处理 M9-T337 幼苗的单株生物量

Table 1 Biomass of M9-T337 under different fulvic acid treatment g

处理 Treatment	根生物量 Biomass of root	茎生物量 Biomass of stem	叶生物量 Biomass of leaf	总生物量 Total biomass
CK	3.05±0.17 c	8.91±0.76 c	6.59±0.25 c	18.54±0.83 d
H ₁	3.79±0.16 b	9.57±0.54 bc	7.48±0.66 b	20.84±0.99 c
H ₂	5.17±0.40 a	12.13±0.64 a	9.40±0.21 a	26.70±1.25 a
H ₃	4.16±0.06 b	10.31±0.62 b	9.03±0.13 a	23.50±0.80 b

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 (P<0.05)

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

2.2 不同黄腐酸处理对 M9-T337 根系形态指标与根系活力的影响 由表 2 可知,不同黄腐酸水平显著影响苹果砧木 M9-T337 的根系总长度、根系总表面积、根尖数与根系活力。随着黄腐酸水平的逐渐升高,M9-T337 幼苗的根系总长度、根系总表面积、根尖数与根系活力均呈先升高后降低的趋势。H₂ 处理的根系总长度、根系总表面积、根尖数与根系活力比 CK 分别提高了 37.69%、68.18%、47.73% 与 80.32%。表明适量施用黄腐酸可显著增加 M9-T337 幼苗的根系活力,促进砧木幼苗的根系生长。

表 2 不同黄腐酸处理 M9-T337 的根系形态指标与根系活力

Table 2 Root architecture parameters and root activity of M9-T337 under different fulvic acid treatments

处理 Treatment	根系总长度 Length//cm	根系总表面积 Surface area//cm ²	根尖数 Number of tips//个	根系活力 Root activity//μg/(h·g)
CK	1 906.45±21.63 d	829.72±29.72 c	6 799.15±240.92 b	47.72±1.56 d
H ₁	2 154.71±92.13 c	1 375.33±41.85 a	7 398.20±351.82 b	64.49±2.34 c
H ₂	2 625.37±132.35 a	1 395.41±72.13 a	10 044.13±592.33 a	86.05±4.22 a
H ₃	2 460.69±34.20 b	1 028.05±51.35 b	9 338.06±412.20 a	73.50±3.07 b

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 (P<0.05)

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

2.3 不同黄腐酸处理对 M9-T337 磷积累量、磷利用率的影响 由表 3 可知,不同黄腐酸处理苹果砧木 M9-T337 的磷积累量、磷利用率有所差异。随黄腐酸水平的逐渐提高,苹果砧木 M9-T337 的磷积累量、磷利用率均呈先升高后降低的趋势,H₂ 处理最大,H₃ 处理次之,CK 最小。H₂

处理的砧木磷积累量、磷利用率分别较 CK 提高了 32.33%、16.67%。表明适量施用黄腐酸有利于 M9-T337 幼苗对磷的吸收及利用率的提高,过量则会出现抑制作用。

2.4 不同黄腐酸处理对根际土壤酸性磷酸酶活性及速效磷含量的影响 由表 4 可知,根际土壤的酸性磷酸酶活性随黄腐酸水平升高呈先升高后降低的趋势,在 H₂ 处理时达到最高,CK 最低;根际土壤速效磷含量变化趋势与之相同。H₂ 处理的酸性磷酸酶活性比 CK 提高了 43.45%;H₂ 处理的土壤速效磷含量比 CK 提高了 36.04%。表明施用黄腐酸可增强苹果砧木根际土壤的酸性磷酸酶活性,以活化土壤中的磷,有利于砧木对磷的吸收。

3 结论与讨论

土壤是植株根系生长的环境,根系是植株吸收养分的主要器官及其生长发育的基础,根系生长环境的改良必然会改善根系的功能和结构,从而影响植株对养分的吸收^[15-16]。根系对土壤磷高效利用的生物学潜力能否发挥是制约磷利用

表 3 不同黄腐酸处理 M9-T337 的磷积累量与磷利用率

Table 3 Phosphorus absorption efficiency and phosphorus utilization efficiency of M9-T337 under different fulvic acid treatments

处理 Treatment	磷积累量 Phosphorus accumulation mg/株	磷利用率 Phosphorus utilization efficiency g/mg
CK	47.79±3.12 b	0.36 c
H ₁	58.12±5.23 a	0.39 b
H ₂	63.24±2.97 a	0.42 a
H ₃	58.72±2.69 a	0.40 b

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 (P<0.05)

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

效率的直接原因。Canellas 等^[17]研究发现,添加从蚯蚓中提取的腐殖酸可显著促进玉米幼苗根系的生长与侧根的发生。该研究中施用适宜的黄腐酸(H₂) M9-T337 幼苗的根系活力、根系总长度、根系总面积与根尖数比 CK 分别提高了 80.32%、37.69%、68.18%与 47.73%,表明施用适宜的黄腐酸能够显著提高根系活力,显著增加根系总长度、根系总面积和根尖数,促进根系生长,利于根系对磷的吸收。这与梁太波等^[18]和王汝娟等^[19]的研究结果一致。

表 4 不同黄腐酸处理根际土壤酸性磷酸酶活性及速效磷含量

Table 4 Acid phosphatase activity and available phosphorus content of rhizosphere soil under different fulvic acid treatments mg/g

处理 Treatment	酸性磷酸酶活性 Acid phosphatase activity	速效磷含量 Available phosphorus content
CK	3.36±0.10 c	26.19±1.37 c
H ₁	3.55±0.15 bc	28.52±2.35 bc
H ₂	4.82±0.21 a	35.63±1.80 a
H ₃	3.76±0.16 b	31.08±0.38 b

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

酸性磷酸酶是催动土壤磷转化的关键之一^[20],是影响土壤有机磷解吸及其生物有效性的重要因素^[21]。George 等^[22]研究发现,酸性磷酸酶与速效磷直接相关;战厚强等^[23]研究表明,土壤酸性磷酸酶活性与土壤速效磷含量之间达极显著正相关。李丽等^[24]和王晓娟等^[25]研究发现,黄腐酸与磷肥会形成黄腐酸-磷酸盐复合物,防止土壤对磷肥的固定与吸附,减少磷淋失,提高磷肥肥效。该研究施用黄腐酸可增强根际土壤酸性磷酸酶活性,H₂ 处理最好,CK 最低,过量施用黄腐酸则会抑制土壤中磷酸酶活性,这可能是因为大剂量的黄腐酸影响了土壤的酸碱度。表明施用适量黄腐酸可提高酸性磷酸酶活性,活化土壤中的磷,利于苹果砧木更好地吸收磷,提高磷利用率,促进砧木生长。同时该研究中,苹果砧木 M9-T337 的生物量、磷积累量与磷利用率随黄腐酸水平的提高呈先增加后减少的趋势,在 H₂ 处理时达最大。这很可能是由于施用适量黄腐酸促进了土壤磷释放^[26],且根系活力提高,利于根系对磷的吸收,提高苹果砧木的磷利用率,这与砧木的根系活力、根系形态及根际土壤酸性磷酸酶活性对黄腐酸水平的响应规律一致。

该研究结果表明,施用适量黄腐酸(100 kg/hm²)可显著促进苹果砧木 M9-T337 根系生长,提高根系活力,增强根际土壤酸性磷酸酶活性,从而提高根系对磷的吸收与利用。

参考文献

- [1] 鲁如坤. 土壤磷素水平和水体环境保护[J]. 磷肥与复肥, 2003, 18(1): 4-8.
- [2] HESKETH N, BROOKES P C. Development of an indicator for risk of phosphorus leaching[J]. J Environ Qual, 2000, 29(1): 105-110.
- [3] 杨学云, BROOKES P C, 李生秀. 土壤磷淋失机理初步研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 479-482.
- [4] GBUREK W J, SHARPLEY A N, HEATHWAITE L, et al. Phosphorus management at the watershed scale: A modification of the phosphorus index [J]. J Environ Qual, 2000, 29: 130-144.
- [5] 俄胜哲, 林志奇, 曾希柏, 等. 长期施肥黄绵土有效磷含量演变及其与磷素平衡和作物产量的关系[J]. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3589-3598.
- [6] 刘畅, 张玉龙, 孙伟. 灌溉方式对保护地土壤磷素淋失风险的影响[J]. 土壤通报, 2012, 43(4): 923-928.
- [7] 雷明江, 杜昌文, 王玉华, 等. 用三种浸提方法研究长期定位试验中土壤磷素有效性[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 85-88, 146.
- [8] 戚瑞生. 长期施肥与轮作对农田土壤磷素吸持特性和磷素形态的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [9] 王经纬, 王艳玲, 姚怡, 等. 长期施肥对旱地红壤团聚体磷素固持与释放能力的影响[J]. 土壤学报, 2017, 54(5): 1240-1250.
- [10] 安志装, 介晓磊, 李有田, 等. 不同水分和添加物料对石灰性土壤无机磷形态转化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(1): 58-64.
- [11] 杨金娟, 马琨, 丁东, 等. 不同培肥方式对旱作区耕地土壤的影响[J]. 西北农业学报, 2013, 22(12): 75-81.
- [12] 党祝庆, 王娜娜, 张亚飞, 等. 不同施肥模式对桃幼树根系生长与氮素吸收分配的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(4): 171-176.
- [13] 庄振东, 李絮花. 腐殖酸氮肥对玉米产量、氮肥利用及氮肥损失的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5): 1232-1239.
- [14] 毛达如. 植物营养研究方法[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011.
- [15] LYNCH J P. Root phenes for enhanced soil exploration and phosphorous acquisition: Tools for future crops [J]. Plant physiology, 2011, 156: 1041-1049.
- [16] 张亚飞, 罗静静, 彭福田, 等. 黄腐酸钾与化肥控释袋促进桃树生长及氮肥吸收利用[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(4): 998-1005.
- [17] CANELLAS L P, OLIVARES F L, OKOROKOVA-FAÇANHA A, et al. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots[J]. Plant physiology, 2002, 130(4): 1951-1957.
- [18] 梁太波, 王振林, 刘娟, 等. 灌溉和旱作条件下腐殖酸复合肥对小麦生理特性及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 900-904.
- [19] 王汝娟, 王振林, 梁太波, 等. 腐殖酸钾对食用甘薯品种钾吸收、利用和块根产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(3): 520-526.
- [20] LIANG Y C, YANG Y F, YANG C G, et al. Soil enzymatic activity and growth of rice and barley as influenced by organic manure in an anthropogenic soil[J]. Geoderma, 2003, 115(1/2): 149-160.
- [21] 于群英. 土壤磷酸酶活性及其影响因素研究[J]. 安徽技术师范学院学报, 2001, 15(4): 5-8.
- [22] GEORGE T S, GREGORY P J, WOOD M, et al. Phosphatase activity and organic acids in the rhizosphere of potential agroforestry species and maize[J]. Soil Biol Biochem, 2002, 34(10): 1487-1494.
- [23] 战厚强, 颜双双, 王家睿, 等. 水稻秸秆还田对土壤磷酸酶活性及速效磷含量的影响[J]. 作物杂志, 2015(2): 78-83.
- [24] 李丽, 武雨萍, 成绍鑫. 腐殖酸钾与速效磷肥结合形态对磷的有效性影响[J]. 土壤肥料, 2000(3): 7-9.
- [25] 王晓娟, 杜天生, 纪莎莎, 等. 黄腐酸土壤改良剂对大豆耗水动态、养分吸收和水肥表现利用率的影响[J]. 作物杂志, 2015(2): 129-133.
- [26] 曲东, 曹宁, 王保莉. 添加 EDTA 及黄腐酸对水稻土中有效磷浓度的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(3): 127-130.

本刊提示 参考文献只列主要的、公开发表的文献,序号按文中出现先后编排。著录格式(含标点)如下:(1)期刊——作者(不超过3人者全部写出,超过者只写前3位,后加“等”)。文章题名[J]。期刊名,年份,卷(期):起止页码。(2)图书——编著者.书名[M]。版次(第一版不写)。出版地:出版者,出版年:起止页码。(3)论文集——析出文献作者.题名[C]//.主编.论文集名.出版地:出版者,出版年:起止页码。