

低分子量有机酸对石灰性土壤有机磷组成及有效性的影响

杨绍琼¹, 党廷辉¹, 戚瑞生², 马瑞萍²

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为探索提高土壤磷素有效性的途径, 采用室内培养的方法, 研究不同有机酸对土壤速效磷含量及有机磷组分的影响。结果表明, 添加有机酸后土壤速效磷含量发生显著变化, 其中草酸处理下土壤速效磷含量显著高于其他处理, 而柠檬酸和苹果酸对土壤速效磷含量具有抑制作用, 其活化量为负值; 随着培养时间的延长, 速效磷含量缓慢降低。速效磷含量随着草酸浓度的升高而升高, 随着苹果酸、柠檬酸浓度的升高而降低; 有机酸处理后, 土壤活性、中活性、中稳性有机磷升高, 高稳性有机磷降低, 这说明有机酸能促进土壤有机磷由有效性低的形态逐步向有效性高的形态转化, 其中草酸的作用效果总体上较柠檬酸和苹果酸强。

关键词: 低分子量有机酸; 速效磷; 有机磷; 石灰性土壤

中图分类号: S153.6 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2012)04-0167-05

Effect of Low Molecular Weight Organic Acid on Organic Phosphorus Fraction and Availability in Calcareous Soil

YANG Shao-qiong¹, DANG Ting-hui¹, QI Rui-sheng², MA Rui-ping²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100;

2. College of Resource and Environment Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: To explore the effective way to improve soil phosphorus availability, indoor incubation experiments were conducted. So, the effect of low molecular weight (LMW) organic acids on organic phosphorus fraction and its availability in calcareous soil was investigated. The results showed that the LMW organic acids could significantly stimulate the soil available phosphorus. For calcareous soil, the ability of oxalic acid in mobilizing soil available phosphorus was higher than that of malic or citric acid; citric and malic acid could significantly restrained soil available phosphorus activity in calcareous soil. The content of soil available phosphorus decreased with the lengthened of the incubation time. Moreover, with the increase of oxalic acid concentration, or the decrease of citric and malic acid concentrations, the content of soil available phosphorus increased. After disposed by LMW organic acids, the contents of liable organic phosphorus (L-OP), moderate liable organic phosphorus (ML-OP), and moderate stable organic phosphorus (MS-OP) increased, while the content of high stable organic phosphorus (HS-OP) decreased in calcareous soil. As a conclusion, LMW organic acids can improve the soil phosphorus availability by affecting the organic phosphorus fractions.

Key words: low molecular weight organic acid; soil available phosphorus; organic phosphorus; calcareous soil

磷是植物生长所必需的大量营养元素, 土壤有机磷是土壤磷素的重要组成部分, 一般约占土壤全磷含量的 20%~50%, 它是植物生长所需磷素的一个重要供给源^[1]。土壤有机磷对植物有效性分组法最早是由美国研究者 Bowman 等^[2]在 1978 年提出的, 该方法将土壤有机磷分为活性有机磷 (labile organic phosphorus, L-OP)、中活性有机磷 (middle-labile organic phosphorus, ML-OP)、中稳性有机磷 (middle-stable organic phosphorus, MS-OP) 和高稳性有机磷 (high-stable organic phosphorus, HS-OP) 4 组, 不同组分有机磷对植物有效性也不同。低磷胁迫下, 植物根系会分泌大量的有机酸进入根际^[3-4], 这些有机酸能促进土壤中磷素的活化, 从而提高磷素的有效性^[5-8]。目前, 关于有机酸对土壤无机磷影响的研究较多, 而对土壤有机磷的研究较少。因此本文选择黄土高原南部的石灰性土壤为对象, 研究比较了柠檬酸、草酸和苹果酸 3 种有机酸施入土壤后对土壤有机磷组分和土壤速效磷的影响, 以期对土壤磷素的化学活化提供理论依据和实践方法。

收稿日期: 2011-12-28

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2005CB121102)

作者简介: 杨绍琼 (1986-), 女, 云南洱源人, 硕士生, 主要从事土壤学研究。E-mail: shou123qiu@163.com

通讯作者: 党廷辉 (1964-), 男, 陕西户县人, 博士, 研究员, 主要从事土壤学研究。E-mail: dangth@ms.iswec.ac.cn

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自黄土高原南部长武塬区中国科学院长武农业生态试验站(35°12'N, 107°40'E)的农田土壤。土壤类型为黑垆土,母质为中壤质马兰黄土。采样深度为 0—20 cm,风干磨碎后备用。土壤基本理化性状为:pH 值 8.02(土水比为 1:2.5),有机质含量 15.11 g/kg,全氮含量为 1.57 g/kg,全磷含量为 0.99 g/kg。土样有机磷组成:活性有机磷(L-OP)含量为 6.55 mg/kg,中活性有机磷(ML-OP)含量为 31.46 mg/kg,中稳性有机磷(MS-OP)含量为 35.46 mg/kg,高稳性有机磷(HS-OP)含量为 32.67 mg/kg。

1.2 试验方法

称取过 20 目筛的风干土样 250 g 于 400 ml 烧杯中,柠檬酸、草酸和苹果酸添加量分别为 20,40,60 mmol/kg,并以添加去离子水为对照。培养过程中,用重量法控制土壤含水量为 20%,每个处理重复 3 次。在 25 °C 恒温箱中培养,分别于培养 5,10,20,50 d 后采样测定土壤速效磷、有机磷组成。

土壤理化性质测定参考《土壤农化分析》^[9];土壤速效磷测定采用 NaHCO₃ 浸提—钼蓝比色法(Olsen 法),土壤有机磷采用 Bowman-Cole 有机磷分组方法^[2]测定;土壤磷的活化量=加有机酸后的磷含量—对照(CK)磷含量。

2 结果与分析

2.1 有机酸对土壤速效磷的影响

不同低分子量有机酸对土壤速效磷的影响不同,且随着培养时间的增加,速效磷活化量也有所不同。从图 1 可以看出,草酸处理下的速效磷活化量显著高于苹果酸处理和柠檬酸处理。在试验浓度范围内,柠檬酸和苹果酸处理下的速效磷含量多数情况下低于 CK,其速效磷活化量为负值;培养的前 20 d,速效磷活化量随培养时间的延长呈增加趋势;20 d 后开始逐渐减小。不同浓度的有机酸对土壤速效磷的影响不同。随着草酸浓度的增大,土壤速效磷含量增加,与 CK 的差异增大,活化量增大,在培养的第 50 天,草酸浓度分别为 20,40,60 mmol/kg 时土壤速效磷含量分别为 CK 的 1.12,1.21,1.23 倍。低浓度苹果酸处理下的土壤速效磷含量高于 CK,但随着浓度增大,对速效磷的抑制作用增大,速效磷活化量逐渐减小,3 个浓度下苹果酸处理的速效磷含量分别是 CK 的 1.02,0.96,0.94 倍。柠檬酸处理下,随着浓度增大,对速效磷的抑制作用增大,3 个浓度下柠檬酸处理的速效磷含量分别是 CK 的 0.91,0.85,0.83 倍。

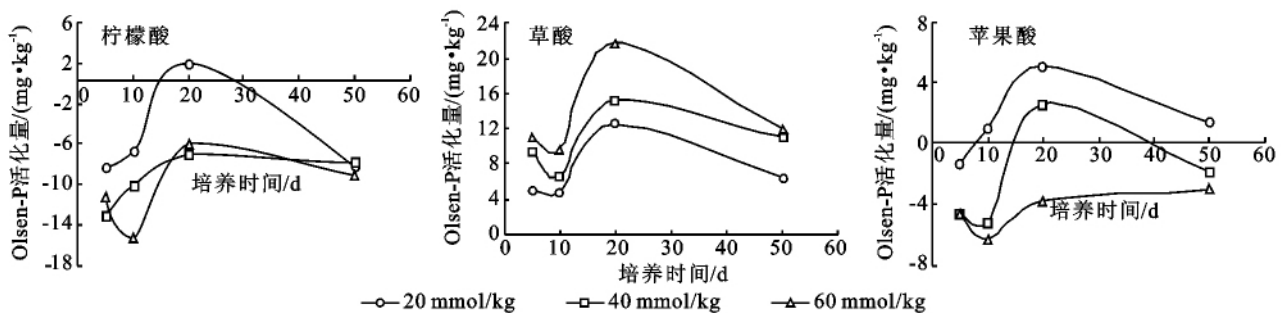


图 1 不同浓度有机酸对土壤速效磷活化的影响

2.2 有机酸对土壤有机磷组成的影响

2.2.1 有机酸对土壤 L-OP 的影响 不同种类有机酸施入土壤后 L-OP 含量不同,且不同的有机酸浓度对土壤 L-OP 的影响也有所差异。图 2 所示,施用草酸显著增加了 L-OP 的含量,且随着草酸浓度升高,L-OP 活化量显著增大;当草酸浓度为 20 mmol/kg 时,柠檬酸与草酸处理的 L-OP 的活化量无显著差异,但都明显高于苹果酸处理;随着草酸浓度增加,柠檬酸和苹果酸处理的 L-OP 含量逐渐下降,低于 CK,活化量为负值。随着培养时间的延长,3 种有机酸处理的 L-OP 活化量都逐渐降低。培养第 50 天,有机酸浓度为 20 mmol/kg 时,柠檬酸、草酸、苹果酸分别从土壤中释放 10.40,9.91,9.27 mg/kg 的 L-OP,分别是 CK 的 1.04,0.99,0.93 倍;有机酸浓度为 40 mmol/kg 时,释放量分别为 7.28,14.57,6.18 mg/kg,是 CK 的 0.73,1.46,0.62 倍;有机酸浓度为 60 mmol/kg 时,释放量为 6.02,20.22,6.98 mg/kg,为 CK 的 0.60,2.02,0.70 倍。与此同时,有机酸浓度为 20 mmol/kg 时,柠檬酸活化土壤 L-OP 的能力强于苹果酸,40 mmol/kg 时,柠檬酸和苹果酸对土壤 L-OP 含量的影响没有显著差异,但是在 60 mmol/kg 时,苹果酸活化 L-OP 的能力显著高于柠檬酸。

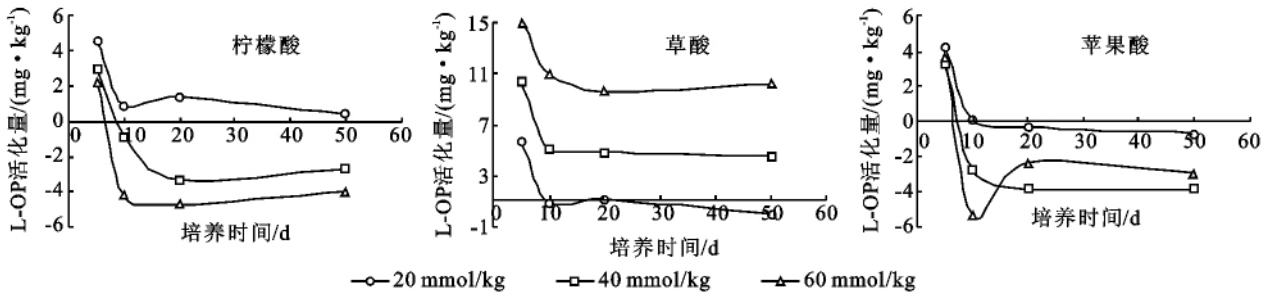


图 2 有机酸在不同培养时间下对土壤 L-OP 的活化作用

2.2.2 有机酸对土壤 ML-OP 的影响 对于 ML-OP 而言,高浓度有机酸处理下的 ML-OP 含量显著高于 CK,活化量为正值,但在低浓度(20 mmol/kg)柠檬酸和苹果酸处理下,培养初期活化量为负值(图 3)。3 种有机酸处理下,随着培养时间延长,ML-OP 含量增加,培养 10 d,活化量最低,之后活化量又逐渐升高,但在培养后期逐渐稳定。不同浓度有机酸对 ML-OP 的影响不同,随着浓度升高,土壤 ML-OP 含量显著增加,活化量增大。总体来说,在相同浓度下,草酸活化 ML-OP 的能力强于柠檬酸和苹果酸。培养 50 d 后,有机酸浓度为 20 mmol/kg 时,柠檬酸、草酸、苹果酸分别从土壤释放 134.88,138.59,134.93 mg/kg 的 ML-OP;有机酸浓度为 40 mmol/kg 时,分别从土壤释放 141.73,141.44,137.73 mg/kg 的 ML-OP;有机酸浓度为 60 mmol/kg 时,分别释放 141.05,144.31,142.02 mg/kg 的 ML-OP。柠檬酸处理下,40,60 mmol/kg 浓度处理下的 ML-OP 之间没有显著差异,但显著高于 20 mmol/kg 处理的 ML-OP;草酸和柠檬酸处理下,随着浓度升高,土壤 ML-OP 显著增加。

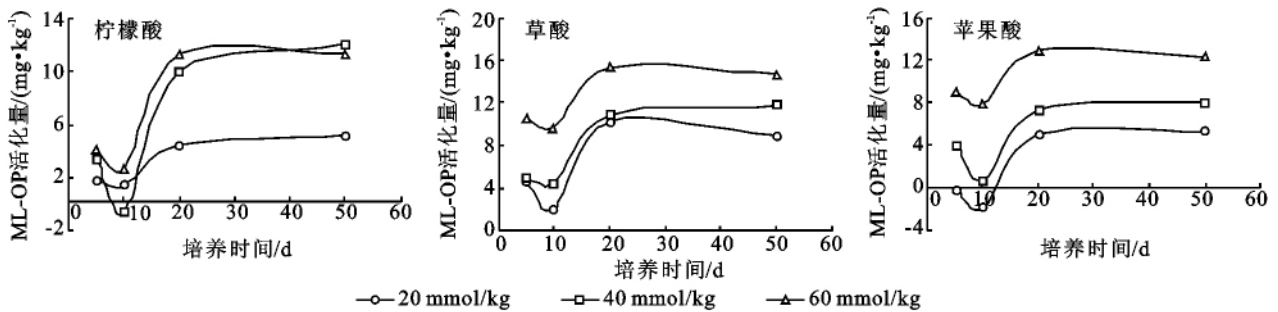


图 3 有机酸在不同培养时间下对土壤 ML-OP 的活化作用

2.2.3 有机酸对土壤 MS-OP 的影响 对于 MS-OP 而言,不同有机酸对其影响不同。如图 4 所示,有机酸处理下的 MS-OP 含量高于 CK 处理。随着培养时间延长,MS-OP 含量变化不一。柠檬酸处理下,随着培养时间的增加,MS-OP 含量逐渐增加,之后逐渐稳定,并且随着浓度的增加,MS-OP 含量逐渐增大;草酸处理下,随着培养时间延长,MS-OP 含量逐渐降低;苹果酸处理下,随着培养时间延长 MS-OP 含量逐渐增大,10 d 时 MS-OP 含量达到最大值,之后降低并趋于稳定,随着浓度的升高,MS-OP 含量逐渐升高。培养时间为 50 d 时,有机酸浓度为 20 mmol/kg 时,柠檬酸、草酸、苹果酸分别从土壤中释放 MS-OP 为 39.92,33.35,42.04 mg/kg;有机酸浓度为 40 mmol/kg 时,分别从土壤中释放 MS-OP 为 43.94,35.10,45.07 mg/kg;有机酸浓度为 60 mmol/kg 时,分别从土壤中释放 MS-OP 为 47.59,37.50,48.21 mg/kg。总体来说,相同浓度下,有机酸对土壤 MS-OP 含量的影响强弱顺序为苹果酸、柠檬酸>草酸($p < 0.05$)。

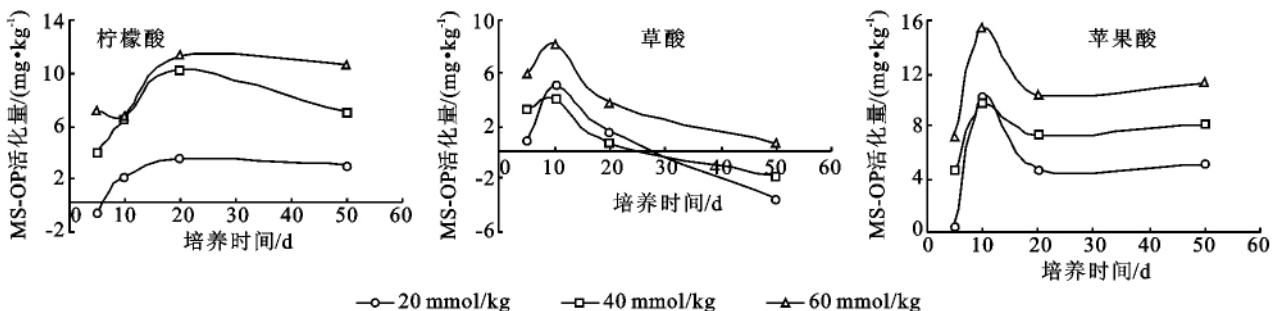


图 4 有机酸在不同培养时间下对土壤 MS-OP 的活化作用

2.2.4 有机酸对土壤 HS-OP 的影响 相对于 CK, 有机酸能显著降低土壤的 HS-OP 含量。如图 5 所示, 随有机酸浓度升高, 土壤 HS-OP 含量显著降低, 说明有机酸促进了 HS-OP 的分解。随培养时间延长, HS-OP 含量逐渐降低。在 0~50 d 的培养过程中, 苹果酸在 10 d 时 HS-OP 活化量出现最大值, 而草酸则出现最小值, 说明在 10 d 时苹果酸对 HS-OP 的作用最弱, 而草酸的作用最强。培养的第 50 天时, 有机酸浓度为 20 mmol/kg 时, 柠檬酸、草酸、苹果酸处理下土壤中的 HS-OP 含量分别为 26.84、25.92、25.28 mg/kg, 分别是对照的 96.7%、93.4%、91.1%; 有机酸浓度为 40 mmol/kg 时, 柠檬酸、草酸、苹果酸处理下土壤中的 HS-OP 含量 24.08、23.02、23.63 mg/kg, 分别是对照的 86.7%、82.9%、85.1%; 有机酸浓度为 60 mmol/kg 时, 柠檬酸、草酸、苹果酸处理下土壤中的 HS-OP 含量分别为 22.71、17.24、19.81 mg/kg, 分别是对照的 81.8%、62.1%、71.4%。相同浓度下, 有机酸对于 HS-OP 作用的强弱顺序为草酸 > 苹果酸 > 柠檬酸。

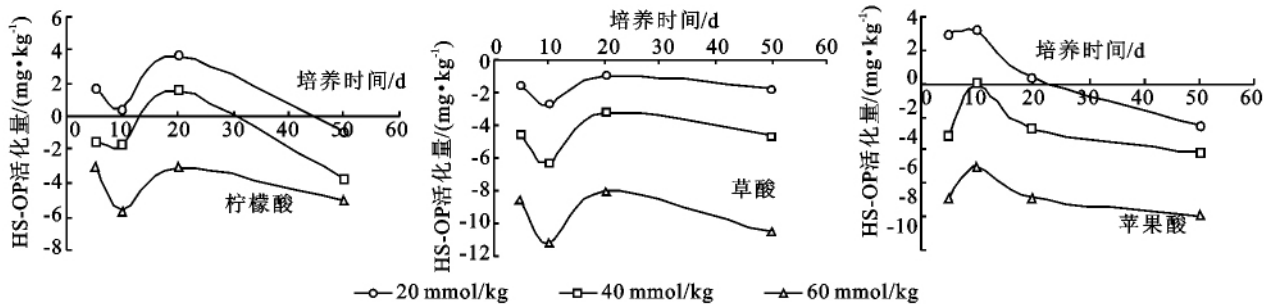


图 5 有机酸在不同培养时间下对土壤 HS-OP 的影响

3 讨论

研究表明, 在不同土壤上, 有机酸对土壤磷素的活化作用不同。在红壤上, 柠檬酸的活化作用强于草酸^[10], 而在石灰性土壤上草酸的活化作用强于柠檬酸^[11]。本试验中, 草酸对土壤速效磷的活化作用显著高于柠檬酸和苹果酸, 而柠檬酸和苹果酸对土壤速效磷有显著抑制作用, 这与章爱群等^[10]的研究结果相反, 这可能与选用的试验方法和有机酸浓度有关; 而在刘丽等^[12]的研究中, 1 mmol/L 的苹果酸和柠檬酸抑制了速效磷的活化, 随着有机酸浓度的增大, 抑制作用减弱, 促进作用增大。这可能说明在一定的浓度范围内, 柠檬酸和苹果酸对土壤速效磷的活化具有一定的抑制作用, 而超过这一范围, 则促进土壤速效磷的活化, 其原因还须进一步研究探讨。随着培养时间延长, 有机酸对土壤速效磷的活化作用减弱, 这与刘丽^[12,7]等的研究结果一致。

土壤中的有机磷是土壤磷素的重要组成部分, 本试验中有机酸能显著提高土壤 L-OP、ML-OP 含量, 降低土壤的 HS-OP 含量, 这与庞荣丽等^[13]的研究结果相一致, 但在本试验条件下, 有机酸提高了土壤的 MS-OP 含量, 这可能是由于所选用的试验方法和条件不同。随着培养时间延长, 土壤的 L-OP 含量逐渐降低, 这可能与土壤微生物和土壤酶的活动有关, 促进了这一部分有机磷经微生物矿化转化为无机磷^[14]。土壤 ML-OP 是土壤有机磷的主体, 它主要是植酸钙、镁等化合物, 这些物质比较稳定, 矿化速率虽不及土壤 L-OP, 但由于其含量较高, 而且部分可提供植物所需磷源。因此, 提高土壤 ML-OP 含量对改善植物磷素供应是非常重要的, 更加深入的研究依然很有意义。

4 结论

不同有机酸处理对土壤速效磷的影响不同。与 CK 相比, 草酸能显著增加土壤速效磷的含量, 但是不同浓度处理下的柠檬酸和苹果酸对速效磷的影响不同, 低浓度处理与 CK 之间没有显著性差异, 而高浓度处理的速效磷含量显著低于 CK。速效磷含量随着草酸浓度的升高而升高; 随着柠檬酸的浓度升高而降低。有机酸对土壤速效磷发挥的活化作用随着培养时间的延长而减弱。

石灰性土壤有机磷以中活性有机磷为主, 约占总有机磷的 64%, 其余组分的含量大小为中活性有机磷 > 中稳性有机磷和高稳性有机磷 > 活性有机磷。有机酸能够提高土壤有机磷总量, 主要表现为中度活性有机磷、活性有机磷和中稳性有机磷增加, 而高稳性有机磷主要表现为下降, 说明有机酸能够促进土壤有机磷由有效性较低的形态逐步向有效性高的形态转化, 进而使土壤有机磷矿化为活性无机磷或者直接被植物根系吸收。草酸处理下的土壤活性有机磷高于苹果酸、柠檬酸处理; 有机酸活化土壤中活性有机磷的强弱顺序为草酸 > 柠檬酸和苹果酸; 有机酸处理下中稳性有机磷含量大小顺序为苹果酸、柠檬酸 > 草酸; 有机酸处理下高稳性有机磷含量大小顺序为柠檬酸 > 苹果酸 > 草酸。

参考文献:

- [1] 徐阳春,沈其荣,薛泽圣. 长期施用有机肥对土壤及不同粒级中有机磷含量与分配影响[J]. 土壤学报,2003,40(4):593-598.
- [2] Bowman R A, Cole C V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils[J]. Soil Science,1978,125:95-101.
- [3] 马敬,曹一平,李春俭. 磷胁迫下植物根系有机酸的分泌及其对土壤难溶性磷的活化[M]. 北京:中国农业科技出版社,1995:149-152.
- [4] Bais H P, Weir T L, Perry L G, et al. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms[J]. Annu. Rev. Plant Biol.,2006,57:233-266.
- [5] Kpombekoua K, Tabatabai M A. Effect of organic-acids on release of phosphorus from phosphate rocks[J]. Soil Science,1994,158(6):442-453.
- [6] 陆文龙,张福锁,曹一平. 低分子量有机酸对土壤磷的活化作用[J]. 中国农业大学学报,1998(S3):49-53.
- [7] 党廷辉,郝明德,郭胜利. 石灰性土壤磷素的化学活化途径探讨[J]. 水土保持学报,2005,19(2):100-101,146.
- [8] WEI Li-li, CHEN Cheng-rong, XU Zhi-hong. Citric acid enhances the mobilization of organic phosphorus in subtropical and tropical forest soils[J]. Biology and Fertility of Soils,2010,46(7):765-769.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [10] 章爱群,贺立源,赵会娥,等. 有机酸对土壤无机态磷转化和速效磷的影响[J]. 生态学报,2009,29(8):4061-4069.
- [11] 陆文龙,曹一平,张福锁. 低分子量有机酸对不同磷酸盐的活化作用[J]. 华北农学报,2001,16(1):99-104.
- [12] 刘丽,梁成华,王琦,等. 低分子量有机酸对土壤磷活化影响的研究[J]. 植物营养与肥科学报,2009,15(3):593-600.
- [13] 庞荣丽,介晓磊,方金豹,等. 有机酸对石灰性潮土有机磷组分的影响[J]. 土壤,2008,40(4):566-570.
- [14] Bowman R A, Cole C V. Transformation of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO_3 extraction[J]. Soil Sci.,1978,125:49-54.

上接第166页

参考文献:

- [1] 汪业勤,赵士洞,牛栋. 陆地土壤碳循环的研究动态[J]. 生态学杂志,1999,18(5):29-35.
- [2] Fang C, Moncrieff J B. The dependence of soil CO_2 efflux on temperature[J]. Soil Biology Biochemistry,2001,33(2):155-165.
- [3] Goulden M L, Wofsy S C, Harden J W, et al. Sensitivity of boreal forest carbon balance to soil thaw[J]. Science,1998,279:214-217.
- [4] Twine T E, Kustas W R, Norman J M, et al. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grass land[J]. Agricultural and Forest Meteorology,2000,103:279-300.
- [5] Powlson D S, Brookes P C. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication[J]. Soil Biology and Biochemistry,1987,19(2):159-164.
- [6] 汤苍,程国栋. 青藏高原近代气候变化及其对环境的影响[M]. 广州:广东科学技术出版社,1998:13-17.
- [7] 孙鸿烈,郑度. 青藏高原形成、演化与发展[M]. 广州:广东科学技术出版社,1998:22-28.
- [8] 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,2000:106-108.
- [9] 徐明岗,于荣,王伯仁. 长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化[J]. 土壤学报,2006,43(5):723-729.
- [10] 王丹,王兵,戴伟,等. 不同发育阶段杉木林土壤有机碳变化特征及影响因素[J]. 林业科学研究,2009,22(5):667-671.
- [11] 王绍强,周成虎,刘纪远,等. 东北地区陆地碳循环平衡模拟分析[J]. 地理学报,2001,56(4):390-400.
- [12] 孙维侠,史学正,于东升,等. 我国东北地区土壤有机碳密度和储量的估算研究[J]. 土壤学报,2004,41(2):298-301.
- [13] 李忠,孙波,林心雄. 我国东部土壤有机碳的密度及转化的控制因素[J]. 地理科学,2001,21(4):301-307.
- [14] 蒋培坤,周国模. 侵蚀型红壤植被恢复后土壤微生物量碳、氮的演变[J]. 水土保持学报,2003,17(1):112-114.
- [15] 赵先丽,程海涛,吕国红,等. 土壤微生物生物量研究进展[J]. 气象与环境学报,2006,22(4):68-72.
- [16] 杨金艳,王传宽. 东北东部森林生态系统土壤碳贮量和碳通量[J]. 生态学报,2005,25(11):2875-2882.
- [17] Zak D R, Tilman D, Parmenter R R, et al. Plant production and soil microorganisms in late-successional ecosystems: A continental scale study[J]. Ecology,1994,75:2333-2347.
- [18] Tu C, Rustaino J B, Hu S. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching[J]. Soil Biology and Biochemistry,2006,38(2):247-255.