

红壤施用不同有机酸解铝毒效果的比较

宗良纲¹, 马建锋², 徐晓炎¹, 曹尧东¹

(1. 南京农业大学资源环境学院, 江苏 南京 210095; 2. 日本香川大学农学院, 日本香川 761 - 0795)

摘要:以黑麦草为供试植物, 进行了施用柠檬酸和草酸解除红壤铝毒的生物盆栽试验。结果表明, 施用包膜有机酸比非包膜有机酸具有更好的解铝毒效果, 其效果随施用浓度的增加而显著提高, 且包膜柠檬酸比包膜草酸的效果更佳。

关键词:铝毒; 包膜有机酸; 黑麦草; 红壤

中图分类号: S131.2 文献标识码: A 文章编号: 1000 - 0267(2002)04 - 0306 - 03

Role of Enveloped Organic Acids in Detoxification of Aluminum in Red Soil

ZONG Liang-gang¹, MA Jian-feng², XU Xiao-yan¹, CAO Yao-dong¹

(1. College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University. Nanjing 210095, China; 2. Faculty of Agriculture, Kagawa University. Kagawa 761 - 0795, Japan)

Abstract: Detoxifying aluminum toxicity by application of citric and oxalic acid was explored with ryegrass cultivation in red soil. The results showed that: (1) the effect of enveloped organic acids was better than un - enveloped organic acids; (2) the effect of enveloped organic acids was increased extremely with an increasing level of enveloped organic acids; (3) the effect of enveloped citric acid was comparatively better than oxalic acid.

Keywords: aluminum toxicity; enveloped organic acid; ryegrass; red soil

业已表明, 柠檬酸、草酸、苹果酸等有机酸是多种阳离子的螯(络)合剂, 能改变金属阳离子在土壤 - 植物根界面的化学行为^[1-2]。为探讨不同有机酸及施用方式对红壤解铝毒的效果, 本研究在前期工作基础上^[3-6], 将柠檬酸和草酸进行包膜处理后施入土壤以控制有机酸的释放速率, 避免水溶性有机酸进入土壤被微生物快速分解, 从而提高解铝毒的效果, 达到增产的目的。

1 材料与方法

1.1 包膜有机酸来源

本试验所用包膜有机酸是由日本 Chisso 公司生产, 所用的包膜均为可降解材料。两种供试包膜有机酸为包膜柠檬酸(含量 9.6%)和包膜草酸(含量 17.7%)。

1.2 供试土壤及基本理化特性

供试土壤采自江西鹰潭红壤试验站自然植被下的红壤。土壤 pH 值为 4.45, 有机质 7.28 g · kg⁻¹, 全

氮 0.43 g · kg⁻¹, 速效磷 7.03 g · kg⁻¹, 速效钾 36.69 g · kg⁻¹, 阳离子交换量(CEC)8.59 cmol · kg⁻¹, 交换性铝 2.23 g · kg⁻¹。

1.3 供试植物

意大利黑麦草(*Lolium multiflorum lam*)由南京农业大学种子公司提供。

1.4 试验处理

盆栽试验每盆装土 1 kg, 每种包膜有机酸设 6 个处理浓度, 分别为 CK(0 g · kg⁻¹), CF1(0.5 g · kg⁻¹), CF2(1 g · kg⁻¹), CF3(2 g · kg⁻¹), CF4(5 g · kg⁻¹), CF5(10 g · kg⁻¹)。其中还增设与 CF3(2 g · kg⁻¹)处理相对应的非包膜有机酸处理(UCF3), 即添加等量的分析纯有机酸试剂。每个处理设 3 次重复, 各处理所用有机酸在播种前均匀混入土壤。盆栽试验 3 月 19 日播种, 按常规方法统一管理, 齐苗后定苗。6 月 3 日进行第一次刈割, 7 月 7 日刈割第二次, 并取鲜样测定叶绿素。同时分离根系, 取土样测定交换性铝的含量。

1.5 土壤与植物样品分析方法

叶绿素含量: 分光光度法^[9]。

植株体内铝含量: 硝酸 - 高氯酸消化, 铝试剂比色法^[9]。

收稿日期: 2001 - 09 - 16

基金项目: 中华农业科教基金资助项目(980213); 湖北省废物地质处置与环境保护重点实验室基金项目(HNWDEP - 2000 - 06)

作者简介: 宗良纲(1960—), 江苏宜兴人, 南京农业大学资源环境学院环境工程系主任, 副教授, 研究生导师。

土壤中交换性铝:用 KCl 提取,比色测定^[10]。

2 结果与分析

2.1 包膜有机酸施用量对黑麦草生物量的影响

图 1、2 的盆栽试验结果表明,红壤施用包膜柠檬酸和包膜草酸后黑麦草生物量随着施用量的增加而显著提高。其中包膜柠檬酸和包膜草酸的 CF3 处理分别比对照增加 12% 和 9%, 而两种包膜有机酸的 CF5 处理均比对照增加 50% 以上。对包膜有机酸处理对黑麦草生物量影响的拟合方程进行相关性检验,两种包膜有机酸的处理浓度与生物量的相关性均达到极显著水平 ($P < 0.01$)。比较施用的两种包膜有机酸对黑麦草生物量的影响效果可以看出,柠檬酸要比草酸效果更好。同时这种增产效应在黑麦草第二次刈割的生物量上表现得更为明显,因为有机酸释放到土壤中发挥作用需要一定的时间,尤其是在旱作条件下。在本试验中,尽管包膜柠檬酸含量只有包膜草酸的一半,却获得了比草酸还好的效果,柠檬酸各处理浓度产量效应平均比草酸还要高 5% 左右。这与业已表明柠檬酸络合能力比草酸强有关。

红壤施用不同包膜有机酸解除土壤铝毒,改善黑麦草生长还表现在植株叶绿素含量变化方面。土壤中不同包膜有机酸处理后影响到植物的体内叶绿素合成。收获前分别测定的黑麦草叶绿素含量结果表明,黑麦草叶绿素含量随着包膜有机酸浓度的增加而提

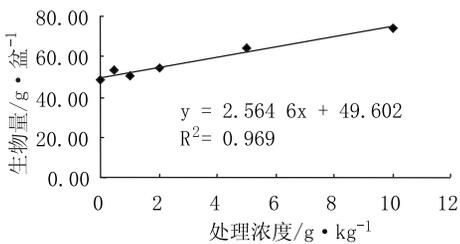


图 1 不同包膜柠檬酸处理浓度的产量(鲜重)效应

Figure 1 Effect on growth with different enveloped citric acid used

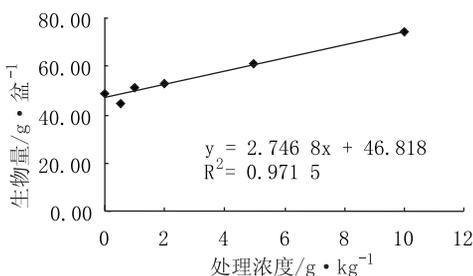


图 2 不同包膜草酸浓度处理的产量(鲜重)效应

Figure 2 Effect on growth with different enveloped oxalic acid used

高。经相关性检验,包膜柠檬酸和草酸处理浓度与黑麦草叶绿素含量均达到极显著相关 ($P < 0.01$)。可以看出,有机酸解除铝毒后提高了黑麦草根系吸收养分的能力。

2.2 有机酸包膜处理对黑麦草解铝毒的影响

图 3 的黑麦草生物量结果表明,不同有机酸是否经过包膜处理其解铝毒效果存在很大差异。在相同有机酸浓度下,包膜柠檬酸处理与非包膜处理的生物量相比有明显提高,其差异达到极显著水平 ($P < 0.01$),而草酸的包膜处理和非包膜处理之间的差异性亦达到显著水平 ($P < 0.05$)。从生物量来看,有机酸直接施用均不利于黑麦草生长,非包膜有机酸处理的生物量与对照相比还有所下降。从本试验中观测的黑麦草出苗率结果看出:包膜柠檬酸处理(CF3)的黑麦草出苗率比非包膜柠檬酸处理(UCF3)的高 10%,差异性检验达到显著水平。土壤中低浓度有机酸可以促进黑麦草种子出苗,在黑麦草出苗过程中,土壤中包膜有机酸处理的释放量得到有效控制,有机酸逐步释放出来。相反,直接施用则浓度过高,反而对植物生长不利。所以,有机酸经过包膜处理后施入土壤中,使得有机酸以一定的速率释放到土壤中,有效避免了土壤中的微生物对有机酸的分解作用,提高了解铝毒的效果。

不同包膜有机酸对黑麦草植株形成叶绿素的差异性也有此规律。包膜柠檬酸处理(CF3)的黑麦草叶绿素含量达到 $1.642 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,而非包膜柠檬酸处理(UCF3)的叶绿素含量为 $1.355 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。包膜草酸处理(CF3)亦由非包膜处理(UCF3)的 $1.000 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 提高到 $1.238 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。与对照的叶绿素含量 $1.095 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 相比,其中非包膜的草酸处理反而有所降低。从各处理浓度的黑麦草叶绿素含量测定结果看出,柠檬酸处理均比草酸处理的要高,因此也说明无论是包膜还是非包膜柠檬酸对黑麦草生长的效果要

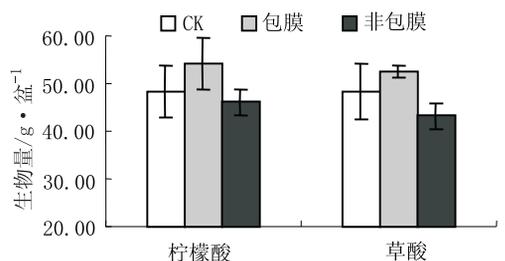


图 3 包膜与非包膜有机酸对黑麦草生长的影响

Figure 3 Effect on ryegrass with controlled and un-controlled organic acids

比草酸理想。

2.3 红壤施用有机酸解铝毒机理的分析

红壤上施用一定量的包膜有机酸能在不同程度上解除土壤铝胁迫作用,改善植物生长,提高作物产量,其主要原因是由于外源有机酸与矿物表面和溶液中的 Al^{3+} 发生配位反应,形成铝-有机酸复合物而减轻铝毒^[7]。铝对于植物生长来说是非必需元素,一方面植物在土壤环境中生长会被动吸收,研究表明吸收的铝主要沉积在根系生长区的表皮细胞,吸收到植物体内的铝基本上是不向地上部分运输。由表1的试验

表1 不同有机酸处理的黑麦草生物量(鲜重)与植株地上、地下部分铝浓度

Table 1 Ryegrass bio-mass and aluminum contents in leaf and root with different treatments

处理	柠檬酸			草酸		
	生物量 /g	地上部分 /%	地下部分 /%	生物量 /g	地上部分 /%	地下部分 /%
CK	48.30 ± 5.261	0.029	0.751	48.30 ± 5.261	0.029	0.751
CF1	53.46 ± 0.939	0.022	0.747	44.81 ± 1.994	0.026	0.619
CF2	50.41 ± 1.918	0.020	0.587	51.12 ± 1.334	0.023	0.584
CF3	54.16 ± 5.772	0.017	0.529	52.53 ± 1.190	0.021	0.163
CF4	64.19 ± 2.713	0.011	0.534	60.86 ± 4.438	0.019	0.240
CF5	74.52 ± 5.159	0.027	0.229	74.10 ± 1.677	0.028	0.323
UCF3	46.16 ± 4.779	0.016	0.443	43.15 ± 2.650	0.027	0.532

关^[8]。非包膜有机酸处理下,由于有机酸在土壤中的分解作用,其解铝毒效果仅相当于低浓度包膜有机酸。另外从土壤中铝的状况来看,其中交换性铝的数量随着包膜有机酸处理浓度的增加呈明显的下降趋势,柠檬酸和草酸在CF5处理浓度时土壤的交换性铝分别只有对照的37.82%和26.65%,说明有机酸在土壤中与活性铝和交换性铝所发生的作用。

3 讨论

将柠檬酸和草酸进行包膜处理后施入酸性红壤中,供试黑麦草的生物量明显提高。增产效果与施用量呈极显著相关,其中包膜柠檬酸增产效果比包膜草酸更明显。试验中所用的包膜柠檬酸浓度仅为草酸的一半左右,但获得了比包膜草酸处理更好的解铝毒效果,包膜柠檬酸各处理浓度产量效应平均比包膜草酸要增加5%左右。这与其他关于柠檬酸对土壤铝螯合作用比草酸强的研究报道相一致。对于在高浓度包膜有机酸处理条件下黑麦草吸收铝含量增加但又没有影响植物生物量的机理有待进一步深入研究。

解决红壤地区作物生长受铝毒危害问题,对开发利用红壤资源,提高农作物产量具有十分重要的现实意义。本试验首次将包膜有机酸应用到土壤修复,从生产实际应用来说需要进一步考虑降低成本的问题,

结果看出,包膜柠檬酸和草酸处理后,黑麦草根系部分铝浓度是地上部分叶片铝浓度的30倍和15倍。而且根系吸收铝的量是随包膜有机酸处理浓度增加而降低的。本试验结果表明,在一定的包膜有机酸处理下,黑麦草所吸收的铝的数量有所下降,在本试验CK-CF4处理浓度范围内两种包膜有机酸的处理浓度与黑麦草吸收量呈极显著负相关,相关系数分别为0.9769和0.9960。从机理上分析属于体外排除机制。在较高处理浓度时(CF5),植物所吸收的铝又有所增加,可能与有机酸活化了铝导致的被动吸收有

这方面特别需要关注一次投入具有多长时间连续效应。从包膜技术本身特点来说其作用时间能持续很长,一般在水中完全释放的时间长达250d以上。包膜有机酸施入土壤中由于水分条件的限制,其完全释放的时间会更长,所以要作全面评价。同时,在对铝敏感的作物品种上施用,其解铝毒效果会更好。

参考文献:

- [1] 王建林,刘芷宇. 重金属在根际中的化学行为 I. 土壤中铜吸附的根际效应[J]. 环境科学学报,1991,11(2):178-186.
- [2] 陆文龙,曹一平,张福锁. 根分泌的有机酸对土壤磷和微量元素的活化作用[J]. 应用生态学报,1999,10(3):379-382.
- [3] 马建锋. Al Binding in the Epidermis Cell Wall inhibits Cell Elongation of Okra Hypocotyl[J]. *Plant Cell Physiol.* 1999, 40(5): 549-556.
- [4] 马建锋,等. Effect of Al on the phyto siderophore-mediated solubilization of the Fe and uptake of Fe-phyto siderophore complex in wheat (*Triticum aestivum*) [J]. *Physiologia Plantarum*, 1999, 106: 62-68.
- [5] 马建锋. Role of Organic Acid in Detoxification of Aluminum in Higher Plants[J]. *Plant Cell Physiol.* 2000, 41(4): 383-390.
- [6] 马建锋,等. Aluminum Tolerance Genes on the Short Arm of Chromosome 3R Are Linked to the Organic Acid Release in Triticale[J]. *Plant Physiology*, 2000, 122: 687-694.
- [7] 沈阿林,等. 土壤中低分子量有机酸在物质循环中的作用[J]. 植物营养与肥料学报,1997, 3(4):363-372.
- [8] 张敬敏,等. 有机酸对活化土壤中镉和小麦吸收镉的影响[J]. 土壤学报,1999, 36(1):61-66.
- [9] 中国林业科学研究院分析中心. 现代实用仪器分析方法[M]. 北京:中国林业出版社,1994. 357-362.
- [10] 南京农业大学. 土壤化学分析[M]. 北京:农业出版社,1996. 107-109.