

# 有机酸对铅和锌危害的解毒机制研究

胡红敏, 边才苗, 王锦文, 陈燕青

(台州学院 生命科学院 浙江 临海 317000)

**摘要:** 采用溶液培养试验和逐步提取法, 研究了有机酸对铅、锌毒害的影响及其机制。结果表明: 有机酸对重金属植株有一定的解毒作用。对于铅植株, 柠檬酸的解毒作用主要是抑制根系吸收, 促进铅向茎叶转移, 并在茎叶中转变为低活性的形态; 酒石酸不改变叶/根比, 解毒效应相对较弱。对于锌植株, 有机酸没有明显抑制根系的吸收, 也没有根和茎叶间活性形态顺序的变化, 但锌的毒性相对较小, 且酒石酸处理使根和茎叶中的高毒性形态都降低, 因而解毒效应也更为明显。

**关键词:** 番茄; 有机酸; 重金属; 活性形态

**中图分类号:** Q 946.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)02-0021-04

植物在生长过程中, 根系从环境中摄取水分和养分, 同时向生长环境中分泌质子, 释放无机离子, 分泌大量有机物质, 这类分泌物中包含大量低分子量的有机酸和氨基酸等。目前, 至少有 22 种氨基酸、11 种糖类、12 种有机酸、9 种生长素、5 种脂肪酸、4 种核苷酸、5 种酶以及大量其它物质从各种植物的根系分泌物中得到分离和鉴定<sup>[1]</sup>。它们对植物营养元素有活化能力, 其机制主要是通过改变根际 pH 值和氧化还原状况, 或通过螯合、还原作用来增加某些元素的溶解度和移动性, 从而影响到这些元素的生物有效性, 改善根际微生态环境, 以利用自身生长<sup>[2]</sup>。随着重金属污染化学行为的研究转入根际微区, 研究者提出根系的分泌作用对重金属行为将产生显著影响<sup>[3]</sup>。根系分泌物或多或少地影响土壤元素的活性及对生物有效性, 特别是重金属在根际的化学行为可能与其在一般土体中有较大差异, 同时重金属也影响根系分泌物的组成和数量, 从而有可能改变根际环境, 进而影响其生态效应<sup>[4]</sup>。研究表明, 有机酸对重金属在土体的行为乃至植株效应都产生十分显著的影响, 但对植株毒性效应的影响及其机理仍不清楚<sup>[5]</sup>。该试验研究了有机酸对 Pb 和 Zn 植株的解毒作用, 并用逐步提取法分析了不同处理植株体内重金属的形态变化, 旨在为阐明有机酸的解毒机理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试植物为番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 合作 903 (一代杂交大果型, 上海番茄研究所, 上海长征良种实验场)。水培营养液配制: 400  $\mu\text{mol/L}$  CaCl<sub>2</sub>, 750  $\mu\text{mol/L}$  KNO<sub>3</sub>, 100  $\mu\text{mol/L}$  MgCl<sub>2</sub>, 重金属处理浓度为 50、100、200 mg/L, Pb 以 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 形态施入, Zn 以 ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 形态施入。柠檬酸和酒石酸处理浓度为  $5 \times 10^{-4}$  mol/L, 并用 NaOH 调节 pH 值至 6。

### 1.2 试验处理

种子经过消毒, 于培养箱中催芽, 播入钢丝网上培养, 共设 3 × 7 种处理: I 组为重金属处理: 对照 (只含营养元素), 50、100、200 mg/L 铅处理与锌处理; II 组为柠檬酸解毒处理 I 组 7 种处理 + 柠檬酸; II 组为酒石酸解毒处理, I 组 7 种处理 + 酒石酸。每种处理设 3 个重复, 培养时间为 2 周。

### 1.3 植株分析

取根、茎叶, 烘干, 称重, 加入逆王水 [HNO<sub>3</sub> : HCl = 3 : 1 (V/V)], 冷消化 1 d 然后热消化, 使溶液煮至近干, 加 5 mL HClO<sub>4</sub> 使冒白烟, 然后再加入 HNO<sub>3</sub> 少许, 使彻底消化, 蒸馏水定容, 原子吸收火焰光谱法测 Pb 和 Zn 的含量。

### 1.4 重金属形态分析

采用逐步连续提取法, 按文献 [6-7] 步骤分级提取和测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 重金属的危害及有机酸的解毒作用

番茄根和苗受 Pb 和 Zn 毒害及有机酸的解毒情况见表 1, 显示有机酸对重金属毒害有明显的保护作用。

第一作者简介: 胡红敏 (1988—), 女, 本科, 研究方向为污染生态学及植物生理生态学。

通讯作者: 边才苗 (1963—), 男, 浙江诸暨人, 副教授, 现主要从事植物生理和生态学研究。E-mail: bcm. @tc.edu.cn。

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目 (Y507053)。

收稿日期: 2009-10-20

当 Pb 浓度为 50 mg/L 时, 幼苗的生长被抑制, 苗长和根长分别下降 23. 35%和 30. 40%; 加柠檬酸后, 苗长和根长明显小于阴性对照 (不加重金属), 但显著大于阳性对照 (不加有机酸)。随着重金属浓度的升高, 柠檬酸的解毒效应减小, 在 200 mg/L 时, 根长与不加有机酸的差异不显著。酒石酸对 Pb 植株的解毒效应与柠檬酸类似,

但解毒效应略弱一些。有机酸对 Zn 植株的解毒作用也有类似的表现, 但 Zn 的毒害比 Pb 小, 在 Zn 浓度为 200 mg/L 时, 苗长和根长只下降 27. 02%和 32. 54%; 同时, 加有机酸后的苗长和根长均显著或极显著大于阳性对照, 且酒石酸对 Zn 植株的解毒作用比柠檬酸略强一些。

表 1 有机酸对 Pb 和 Zn 植株的解害效应

Table 1 Effect of organic acid on radish under the stress of Pb and Zn cm

处理 Treatment	苗平均长度 Average height of shoots			根最大长度 Max. length of roots		
	不加有机酸	加柠檬酸	加酒石酸	不加有机酸	加柠檬酸	加酒石酸
	No organic acid	Citric acid	Tartaric acid	No organic acid	Citric acid	Tartaric acid
0	5. 44±0. 14 a	5. 42±0. 14 a	5. 40±0. 15 a	7. 50±0. 17 a	7. 48±0. 21 a	7. 49±0. 16 a
Pb- 50	4. 17±0. 16A	5. 11±0. 20B	4. 88±0. 14 B	5. 22±0. 17A	6. 43±0. 21B	6. 18±0. 14B
Pb-100	3. 78±0. 13A	4. 54±0. 13B	4. 39±0. 14 B	4. 44±0. 17A	5. 18±0. 15B	5. 05±0. 12B
Pb-200	3. 51±0. 13 a	3. 87±0. 11 b	3. 67±0. 12 ab	4. 13±0. 16 a	4. 50±0. 18 a	4. 43±0. 17 a
Zn- 50	4. 75±0. 19A	5. 24±0. 18B	5. 10±0. 16B	5. 96±0. 19A	6. 88±0. 16B	6. 97±0. 18B
Zn-100	4. 53±0. 18A	5. 22±0. 18B	5. 28±0. 16B	5. 73±0. 19A	6. 59±0. 19B	6. 74±0. 16B
Zn-200	3. 97±0. 16 a	4. 63±0. 16 b	4. 78±0. 17 b	5. 06±0. 16 A	5. 79±0. 19B	5. 92±0. 17B

注: 大写字母表示  $P<0.01$  水平; 小写字母表示  $P<0.05$  水平; 同一列中不同字母代表差异显著。  
Notes: Capital letter expresses  $P<0.01$  level; Small letter expresses  $P<0.05$  level; Significant differences among treatments in the same column are indicated by different letters.

2.2 有机酸对重金属在植株内分布的影响

不同处理番茄植物体内重金属含量分布见表 2, 在柠檬酸和酒石酸处理中, 根的铅含量分别只有不加有机酸的 44. 7%和 58. 2%, 茎叶中分别为 74. 4%和 51. 7%, 说明有机酸处理可能抑制植株对铅的吸收。从叶/根比值看, 加柠檬酸的叶/根比为 0. 32%, 明显大于不加有机酸的 0. 19%和加酒石酸的 0. 17%, 说明柠檬酸可以提

高铅从根往茎叶的运输。锌在植物体内的分布不同于铅, 茎叶中比铅高, 根中比铅低, 叶/根比为 6. 24%, 明显大于铅的 0. 19%。在柠檬酸处理后, 叶片的锌含量明显高于不加有机酸和酒石酸处理, 根的含量则低于不加有机酸和酒石酸处理, 叶/根比为 9. 12%, 明显大于不加有机酸的 6. 24%和加酒石酸的 6. 64%。说明柠檬酸可以抑制根系吸收锌, 并促进锌向茎叶转移。

表 2 不同处理番茄幼苗中 Pb 和 Zn 的含量分布

Table 2 Distribution of Pb and Zn in tomato seedlings with different treatment  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

处理 Treatment	茎叶 Shoots			根 Roots		
	不加有机酸	加柠檬酸	加酒石酸	不加有机酸	加柠檬酸	加酒石酸
	No organic acid	Citric acid	Tartaric acid	No organic acid	Citric acid	Tartaric acid
Pb-100	206. 33	153. 47	106. 64	$1. 08 \times 10^5$	$4. 82 \times 10^4$	$6. 28 \times 10^4$
Zn-100	285. 42	366. 78	297. 35	$4. 57 \times 10^3$	$4. 02 \times 10^3$	$4. 48 \times 10^3$

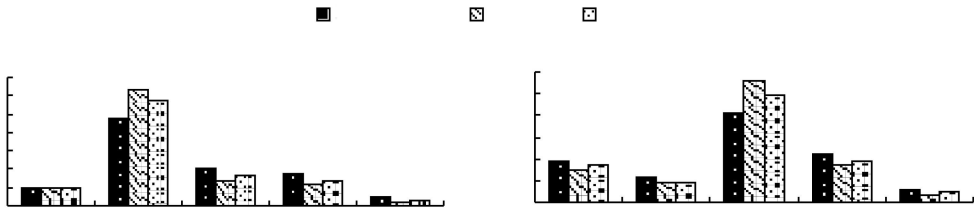


图 1 有机酸对番茄根、茎叶内 Pb 形态的影响

注: A. 可交换态; B. 碳酸盐提取态; C. 铁锰氧化物结合态; D. 有机物结合态; E. 残留态(下同)。

Fig. 1 Impact on Pb shape in the roots and shoots of tomato treatment with organic acid

Note: A. Exchangeable status; B. Carbonate extraction status; C. Fe-Mn oxide bound status; D. Organic bound status; E. Residue status(the same as below ).

2.3 有机酸对重金属在植株内存在形式的影响

不同处理植株的重金属形态变化(图 1)。在不加有

机酸时, 根中铅以碳酸盐提取态为主, 其次是铁锰氧化物结合态和有机物结合态, 而可交换态和残留态很少;

茎叶中以铁锰氧化物结合态为主,其余依次为有机物结合态、可交换态、碳酸盐提取态和残留态。加柠檬酸处理,植物体内铅的存在形态与不加有机酸时一致,根中仍以碳酸盐提取态为主,但比例增高;其余4种形态,除可交换态的变化较小外,均有明显的降低。茎叶中铁锰氧化物结合态最高,比例增加,其余4种形态的比例都低于不加有机酸的。加酒石酸也有类似的变化,但各种形态的比例变化较小。说明根中的铅转运到茎叶后可转变为毒性低的铁锰氧化物结合态,从而使毒性降低。

锌在植株内的存在形态(图2),根中以有机物结合

态为主,碳酸盐提取态和可交换态的比例也很高,约为总量的47.4%;茎叶中也以有机物结合态为主,其次是可交换态和碳酸盐提取态,但这2种高毒性形态的比例下降(只占43.7%)。有机酸处理根和茎叶中各形态的顺序不变,但可交换态和碳酸盐提取态的比例下降,尤其酒石酸处理,根和茎叶中这2种形态的总量也下降,比不加有机酸低12.1%和8.9%;而柠檬酸处理,根中2种高毒性形态的总量下降更明显(19.8%),但茎叶中是增加的,说明根中的下降效应更为重要。

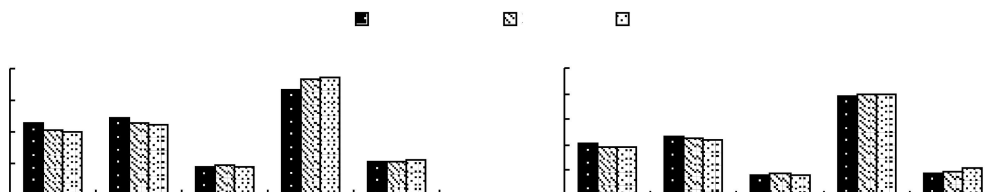


图2 有机酸对番茄根、茎叶内Zn形态的影响

Fig.2 Impact on Zn shape in the roots and shoots of tomato treatment with organic acid

### 3 结论

有机酸对Pb和Zn植株效应有显著的影响,柠檬酸可以减轻Pb对番茄幼苗的毒害作用,而酒石酸可以减轻Zn对番茄幼苗的毒害作用。

有机酸对重金属植株的解毒作用主要表现为:抑制根系吸收,促进根向茎叶转移,以及在茎叶中转变为低活性的结合态等,但不同有机酸对不同重金属的解毒机制有明显的差异。对于Pb植株,柠檬酸的解毒作用包含以上3方面,其中抑制根系吸收是最主要的;酒石酸的解毒作用缺少,影响根向茎叶转移,不能提高叶/根比。对于Zn植株的解毒作用,有机酸处理对抑制根系吸收影响相对较小,同时也没有明显的低活性的结合态,因而有机酸的主要解毒机制是降低高活性形态的比例;但这种降低也不甚显著,且柠檬酸处理有相对比较明显的,影响根向茎叶转移,使茎叶的Zn含量及高活性形态量都比不加有机酸的阳性对照还多;而酒石酸没有

促进重金属的根向茎叶转移,茎叶的Zn含量及高活性形态也都低于阳性对照,因而其解毒作用也更为显著。

### 参考文献

- [1] 林琦,郑春荣,陈怀满,等.根际环境中镉的形态转化[J].土壤学报,1998(4):461-467.
- [2] 张福锁,曹一平.根际动态过程与植物营养[J].土壤学报,1992,29(8):239-250.
- [3] Mench M, Martin E. Mobilization of cadmium and other metals from two soils by root exudates of *Zeamays L*, *Nicotiana tabacum L* and *rustica L* [J]. Plant and Soil, 1991, 132: 187-196.
- [4] 曹裕松,李志安,邹碧.根际环境的调节与重金属污染土壤的修复[J].生态环境,2003,12(4):493-497.
- [5] 陈英旭,林琦,陆芳,等.有机酸对铅、镉植株危害的解毒作用研究[J].环境科学学报,2000,20(4):467-472.
- [6] 王亚平,鲍征宇,侯书恩.尾矿库周围土壤中重金属存在形态特征研究[J].岩矿测试,2000,19(1):43-45.
- [7] 王昌全,代天飞,李冰,等.稻麦轮作下水稻土重金属形态特征及其生物有效性[J].生态学报,2007,27(3):889-897.

## Detoxication Mechanism of Organic Acid to Raddish under the Stress of Pb and Zn

HU Hong-min, BIAN Cai-miao, WANG Jin-wen, CHEN Yan-qing

(College of Life Sciences of Taizhou University, Linhai, Zhejiang 317000)

**Abstract:** Effect of organic acids on stress of Pb and Zn and its mechanisms was studied by using solution culture tests and sequential extraction method. Results showed that the detoxification of citrate acid to Pb and tartaric acid to Zn was comparatively distinct. For plant treated with Pb, detoxification of citric acid expressed by inhibiting uptake of the root

# 南北种源马齿苋种子在相同预处理条件下的萌发差异

赵 红, 邓洪平, 雷胜勇

(西南大学 生命科学学院, 重庆 400715)

**摘 要:** 为了提高优质蔬菜马齿苋的种子萌发速度和萌发率, 并考虑南北种源的差异, 进而找到合适的种源及最佳预处理条件, 以热水、食醋、葡萄糖、赤霉素分别对来自北方和南方的种子进行预处理, 其中各条件均选择一定梯度, 处理后移入发芽培养基, 对种子跟踪观察 10 d, 每 12 h 测定 1 次萌发数。结果表明: 北方和南方种子在生活力上没有显著差异, 但北方种子在自然条件下比南方种子更容易萌发; 相同预处理条件下, 北方和南方种子的萌发具有不同程度的差异; 40℃热水和质量分数为 2.5% 的食醋是处理北方种子的最佳条件, 而南方种子只有在 40℃热水中浸泡才能达到理想的萌发率。

**关键词:** 马齿苋种子; 热水; 食醋; 葡萄糖; 赤霉素; 萌发差异

中图分类号: S 647.04<sup>+</sup>.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-0009(2010)02-0024-04

马齿苋 (*Portulaca oleracea* L.), 隶属马齿苋科、马齿苋属, 含丰富的蛋白质、多糖、有机酸、矿质元素等, 具有独特的营养价值, 被誉为 21 世纪最有前途的、值得开发的绿色食品<sup>[1]</sup>。

目前马齿苋栽培主要采用种子繁殖, 但国内种质资源缺乏, 优良可靠的种子来源少, 同时种子在自然条件下发芽率低、发芽速度慢, 因此, 寻找合适的种源, 并通过预处理提高种子萌发率、加快萌发速度成为大面积种植马齿苋亟需解决的问题。种子的发育、休眠等生理过程与环境条件如日照、温度、气候等密切相关。因此, 该试验选择日照、温度、气候具有明显差异的北方和南方

马齿苋种源进行预处理, 研究萌发差异, 从而有针对性地提高种子利用率, 为大规模开发利用提供理论与实践依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

马齿苋可靠种源极少, 并且综合考虑日照、温度、降雨等自然条件, 选择东北地区和西南地区的 2 个省份, 分别代表典型的北方和南方气候。北方种源来自黑龙江省黑河市, 南方种源来自四川省乐山市。均收获于 2007 年 11 月, 相同条件下室温储藏备用。种源由西南大学植物学教授何平鉴定。

试剂选用质量分数为 0.5%、1%、1.5%、2%、2.5% 的食醋 (品名: 保宁醋; 四川保宁醋有限公司生产; 主要成分: 醋酸、非氨法焦糖、对羟基苯甲酸乙酯) 溶液; 质量分数为 0.5%、1%、1.5%、2%、2.5% 葡萄糖溶液; 质量浓度为 50、100、200、400、600 mg/L 赤霉素溶液; 发芽培养基: 1/2MS 基本培养基 + 15 g/L 蔗糖 + 6 g/L 琼脂。

### 1.2 试验方法

各处理 3 次重复, 每次重复 100 粒种子。

#### 1.2.1 热水处理 将北方和南方的种子分别放入 25、

第一作者简介: 赵红(1983—), 女, 四川眉山人, 硕士, 现主要从事植物系统进化研究工作。E-mail: zhlyc@swu.edu.cn

通讯作者: 邓洪平(1970—), 男, 重庆忠县人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 现主要从事植物学、生态学与保护生物学研究工作。E-mail: denghp@swu.edu.cn

基金项目: 重庆市自然科学基金计划资助项目 (CSTC 2008BB 5256); 211 工程三期建设经费资助项目。

收稿日期: 2009-09-20

system, improving transformation of Pb to stem and leaves, and transforming into forms of lower activity in the stem and leaves. Tartaric acid did not change the leaf/root ratio, and the detoxification effect was relatively weak compared with the citrate acid situation. For plant treated with Zn, organic acids did not inhibit the absorption of the roots and also not changed sequence of activity forms for roots and leaves. However, the toxicity of Zn was relatively small, and tartaric acid treatment made higher activity forms of roots and leaves decrease, thus indicating that the detoxification effect of tartaric acid was more significant compared with citrate acid situation.

**Key words:** *Lycopersicon esculentum*; organic acid; heavy metal; activity forms