

铝胁迫下大豆根系有机酸积累的特性

田 聪,张 烁,栗 畅,郭安静,白振龙,梁翠月

(华南农业大学 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室/根系生物学研究中心,广东 广州 510642)

摘 要:为探讨铝胁迫对大豆根系有机酸积累的影响,以大豆品种粤春 03-3 为研究对象,通过水培方法进行不同时间的铝处理,分别测定大豆根系的相对生长率、以及距根尖 0~2 和 2~4 cm 根段的铝含量、苹果酸浓度、柠檬酸浓度和草酸浓度等。结果表明:铝处理明显抑制了大豆根系的生长。随着铝处理时间的延长,0~2 cm 根段的铝含量明显降低,而 2~4 cm 根段的铝含量明显增加。另外,铝胁迫对不同根段的有机酸积累的影响也不同。铝处理 6 h 显著提高了大豆根系的苹果酸浓度,但对柠檬酸和草酸浓度均无明显影响。铝处理 12 h 后,0~2 cm 根段中 3 种有机酸的浓度在铝处理和对照之间均无明显差异,但 2~4 cm 根段的苹果酸浓度和草酸浓度均明显高于对照。说明苹果酸和草酸在大豆根系铝毒的内部忍耐机制中起着重要作用。

关键词:铝;大豆;苹果酸;柠檬酸;草酸

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2017.02.0256

Effects of Aluminum (Al) on Organic Acid Accumulation in Soybean Roots

TIAN Cong, ZHANG Shuo, SU Chang, GUO An-jing, BAI Zhen-long, LIANG Cui-yue

(State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-bioresources / Root Biology Center, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The objective of this study was to evaluate the effects of aluminum (Al) on the response of organic acids accumulation in soybean roots. One soybean genotype YC03-3 was treated with or without Al. The relative root growth rate and Al accumulation in different root segments were investigated. Furthermore, the concentration of three types of organic acid including malate, citrate and oxalate were measured. Results showed that the soybean root growth was significantly inhibited by Al treatment. The Al content decreased in the 0-2 cm root segment, while increased in the 2-4 cm root segment with the Al treatment period increased. Furthermore, the organic acid concentrations in different root segments were divergently affected by Al treatment. Short period of Al treatment (6 h) didn't affect the citrate and oxalate concentration in soybean roots, but significantly increased the malate concentration in roots. After 12 hours of Al treatment, the concentration of three organic acids in 0-2 cm root segments were not significantly altered. However, the malate concentration and the oxalate concentration in the 2-4 cm root segments were significantly higher than that in control. Therefore, malate and oxalate accumulation might affect internal Al tolerance of soybean roots.

Keywords: Aluminum; Soybean; Malate; Citrate; Oxalate

世界上超过 50% 的可耕作土壤及我国南方的大部分土壤均为酸性土壤^[1]。酸性土壤上铝毒害是限制作物生长的重要因子之一^[2]。土壤中的铝通常以难溶性的硅酸铝和氧化铝等无害复合物形式存在。但土壤 pH 低于 5.5 时,大部分铝离子溶解于土壤溶液,以活性铝的形式存在^[3]。铝离子可以拮抗其他阳离子,阻碍植物对其他阳离子的吸收。另外,铝离子进入植物细胞后,不仅破坏质膜和细胞骨架的完整性,而且严重影响 DNA 的稳定性^[4-5]。植物耐铝毒的生理机制可以归为两大类:内部忍耐机制和外部排斥机制^[2, 6-9]。植物对铝毒的内部忍耐机制又包括两个方面:一方面,细胞内有机酸和蛋白等与铝离子形成螯合物,降低了铝离子的活性;另一方面,铝从敏感的细胞质等区域转

移到液泡等非敏感区,减少对其他细胞器的损害。

研究发现,植物体内合成的有机酸,如草酸、柠檬酸和苹果酸等均能够螯合细胞中的铝,形成无毒的铝化合物^[6-9]。Ma 等^[10]研究发现,绣球花(*Hydrangea macrophylla*)的叶片累积了大量铝,但其生长不受铝的毒害。主要原因在于其叶片中的铝与柠檬酸以 1:1 的比例螯合形成稳定的复合物。与绣球花相似,荞麦(*Fagopyrum esculentum*)也是一种铝累积植物。铝在荞麦的根系中与草酸以 1:3 的比例形成复合物,然后转变成铝-柠檬酸复合物由木质部向上运输至叶片,在叶片中再次转化成铝-草酸复合物储存^[11-12]。最近的研究也显示,柱花草(*Stylosanthes*)苹果酸酶基因 *SgME1* 受铝胁迫上调表达。在菜豆毛状根中超量表达该基因能够明显

收稿日期:2016-10-10
基金项目:广东省自然科学基金杰出青年基金(2015A030306034);国家自然科学基金(31301835)。
第一作者简介:田聪(1995-),女,学士,主要从事环境工程研究。E-mail: fish.sharon77@hotmail.com。
通讯作者:梁翠月(1981-),女,博士,副研究员,主要从事植物营养生理和遗传研究。E-mail: liangcy@scau.edu.cn。

提高转基因材料的苹果酸浓度及其耐铝能力。说明内部苹果酸的合成对于柱花草适应铝胁迫具有重要的作用^[13]。Dong 等^[14]测定了长时间(2 d)铝处理后大豆根尖有机酸的变化,发现长时间铝处理能够明显提高大豆根尖的苹果酸浓度,但对柠檬酸和草酸浓度的影响较小。说明苹果酸的合成对大豆耐铝具有重要作用。但关于短时间铝胁迫是否影响大豆根系有机酸的积累,且根系其他部位的有机酸累积是否也受铝毒的影响尚未清楚。因此,本研究以大豆品种粤春 03-3 为材料,分析了铝胁迫条件下,大豆根系不同部位苹果酸、柠檬酸和草酸的累积特性,从而初步解析有机酸在大豆根系铝毒的内部忍耐机制中的作用。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为大豆品种粤春 03-3,由华南农业大学提供。试验所涉及的化学药品均为分析纯,购自广州化学试剂厂。

1.2 试验设计

采用营养液进行不同铝处理培养每个处理设 4 个生物学重复随机排列。大豆种子用氯气熏蒸法灭菌,纸培法催芽至子叶完全展开。将幼苗移栽到对照以及含铝的营养液中培养,其中每 8 L 营养液处理 12 株苗。对照为 0 μmol·L⁻¹ AlCl₃,铝处理为 450 μmol·L⁻¹ AlCl₃。其它营养液成分为: 150 μmol·L⁻¹ KNO₃, 120 μmol·L⁻¹ Ca(NO₃)₂·4H₂O, 40 μmol·L⁻¹ NH₄NO₃, 30 μmol·L⁻¹ (NH₄)₂SO₄, 300 μmol·L⁻¹ K₂SO₄, 500 μmol·L⁻¹ MgSO₄·7H₂O, 25 μmol·L⁻¹ MgCl₂, 40 μmol·L⁻¹ Fe-Na-EDTA, 1.5 μmol·L⁻¹ MnSO₄·H₂O, 1.5 μmol·L⁻¹ ZnSO₄·7H₂O, 0.5 μmol·L⁻¹ CuSO₄·5H₂O, 0.15 μmol·L⁻¹ (NH₄)₆Mo₇O₂·4H₂O 和 2.5 μmol·L⁻¹ Na₂B₄O₇·10H₂O。移栽后定时通气,分别于处理后 6 和 12 h 采集距根尖 0~2 和 2~4 cm 的根段,测定其铝含量和有机酸浓度。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 有机酸浓度 用 1 mL 0.25 mol·L⁻¹ HCl 研磨已知重量的植物样品。所得匀浆转移至 1.5 mL 离心管,在 80℃ 的水浴锅中温育 20 min。然后 4℃ 条件下,转速为 12 000 r·min⁻¹ 离心 20 min。所得上清于 -80℃ 保存。所有样品用 0.45 μm 微孔滤膜过滤,然后用高效液相色谱仪(1260 Infinity LC 系列,安捷伦公司,美国)测定其苹果酸、柠檬酸和草酸等有机酸的浓度。其中,检测波长为 220 nm,柱温 35℃,固定相为 C18 柱(4.6 mm×250 mm)(安捷

伦公司,美国),流动相为 0.2% 磷酸二氢铵。

1.3.2 铝含量 取两棵植株的根段干样置于马弗炉中,600℃ 灼烧 6 h,取出冷却后加入 5 mL HCl 溶解,过滤去杂质。用相应的 HCl 配置 Al 标准曲线,浓度分别为 0,0.1,0.2,0.5,1,2,5,10 μg·mL⁻¹。所得样品溶液用电感耦合等离子体原子发射光谱仪(VARIAN 710-ES)测定铝含量。每 30 个样品溶液中间测定一次标准溶液,消除仪器运行误差。

1.3.3 苏木精染色 称取 0.2 g 苏木精和 0.02 g 碘酸钾溶于 100 mL 水中,敞口搅拌过夜,配成苏木精染色液。分别取铝处理 6 和 12 h 后的 5 cm 左右大豆根段,先用去离子水冲洗 3~4 次,然后加苏木精染色液染色 5 min,然后用去离子水冲洗根段表面的苏木精染色液,在体式显微镜下观察染色情况。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 进行平均值和标准误差的计算,并利用 SPSS 17.0 统计软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 铝处理对大豆根系生长的影响

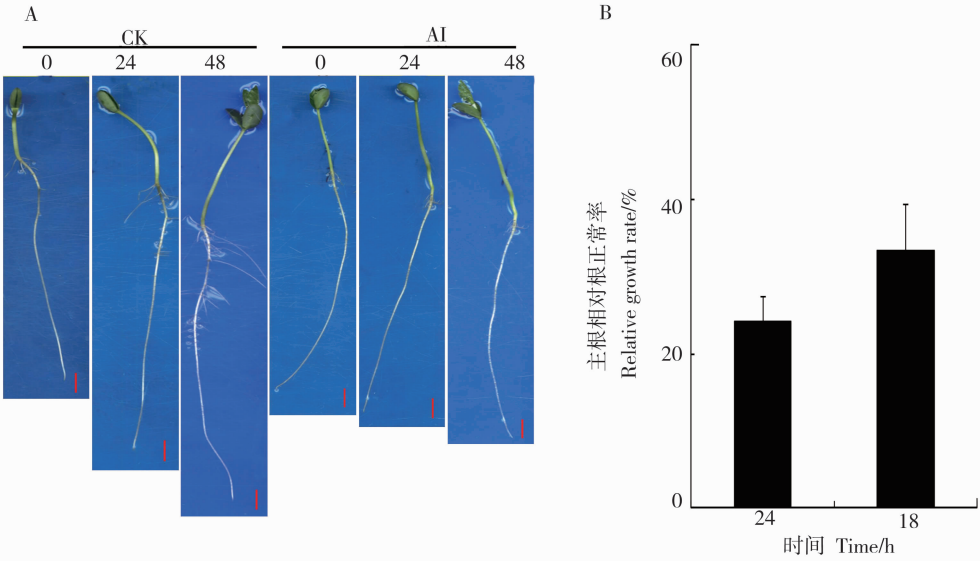
以粤春 03-3 为植物材料,检测了铝毒害对大豆根系生长的影响。结果显示,铝处理明显抑制了大豆根系的生长(图 1)。铝处理后,大豆侧根数明显减少,且主根根长明显缩短(图 1A)。尤其在铝处理 24 和 48 h 后,大豆主根根长的相对增长率分别比对照减少了 76% 和 67%(图 1B)。

2.2 铝处理对大豆根系铝累积的影响

利用苏木精染色法检测了短期(6 和 12 h)铝处理对根尖铝累积的影响。结果如图 2 所示,铝处理条件下,根尖苏木精染色明显深于对照,而且铝处理 12 h 后的根尖苏木精染色明显浅于处理后 6 h 的根尖(图 2C,D)。说明铝处理条件下,大豆根尖快速地累积了较多的铝离子。然而随着时间的延长,即铝处理 12 h 后,大豆根尖铝累积量降低。

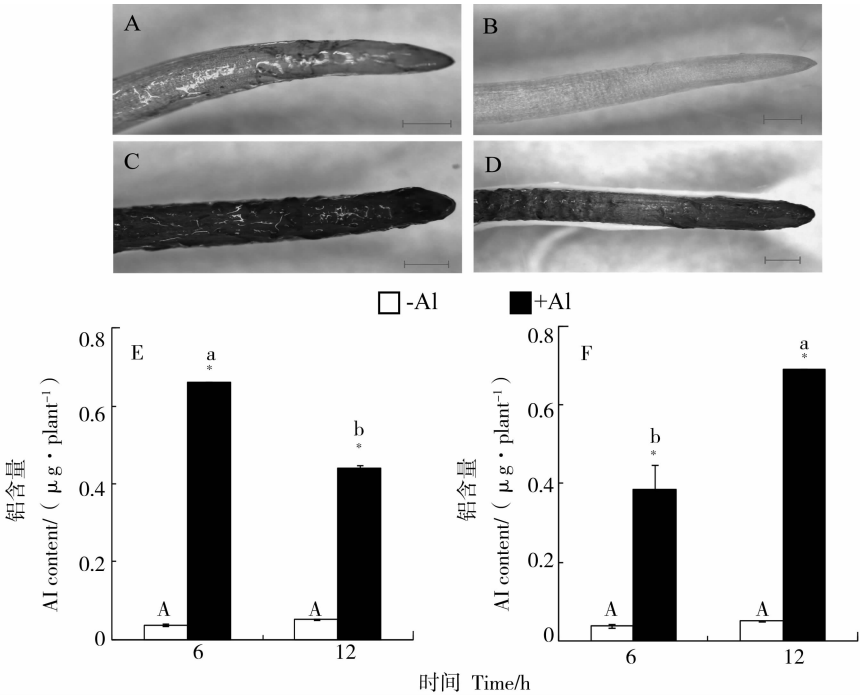
进一步通过电感耦合等离子体原子发射光谱仪检测了大豆 0~2 cm 和 2~4 cm 根段的铝含量。结果显示,短时间的铝处理能够迅速提高大豆根尖 0~2 cm 根段的铝含量。铝处理 6 h 后,大豆 0~2 cm 根段的铝含量为 0.7 μg,显著高于对照($P < 0.05$)。但随着处理时间的延长,该根段的铝含量显著降低($P < 0.05$)。处理 12 h 后,该根段的铝含量降为 0.48 μg,仅为处理 6 h 后该根段铝含量的 69%。与 0~2 cm 根段相似,铝处理也明显提高了大豆 2~4 cm 根段的铝含量(图 2E)。铝处理 6 h 后,2~4 cm 根段的铝含量达到 0.39 μg,显著高于对照($P < 0.05$)。而铝处理 12 h 后,该根段的铝含

量增加到 0.72 μg , 不仅显著高于对照 ($P < 0.05$) 且 为铝处理 6 h 后的 1.9 倍 (图 2F)。



A: 铝处理 24 和 48 h 后大豆根系的生长状况; B: 铝处理 24 和 48 h 后大豆根系相对生长量。
A; Soybean root growth under Al treatment for 24 and 48 h; B: Relative growth rate of soybean roots treated with Al for 24 and 48 h, respectively.

图 1 铝处理对大豆根系生长的影响
Fig. 1 Root growth affected by Al treatment



其中图 A 和 B 分别为 6 和 12 h 后, 对照根系苏木精染色; 图 C 和 D 分别为 6 和 12 h 后, 铝处理根系苏木精染色。E ~ F: 不同时间铝处理对大豆 0 ~ 2 cm (E) 和 2 ~ 4 cm (F) 根段铝含量的影响。图中不同字母表示相同条件下不同时间处理之间差异显著; * 表示同一时间不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。
A-D: Al accumulation in soybean roots were indicated by hematoxylin staining. A and B were root tips harvested after 6 and 12 h of control treatment; C and D were root tips treated with 6 and 12 h of Al; E-F: Al accumulation in soybean 0 ~ 2 cm (E) and 2 ~ 4 cm (F) root segments. Letters represent significant differences between different periods in the same treatment. * represent significant difference between different treatments at the same time ($P < 0.05$). The same below.

图 2 铝处理对大豆根系铝积累的影响
Fig. 2 Al accumulation in soybean roots

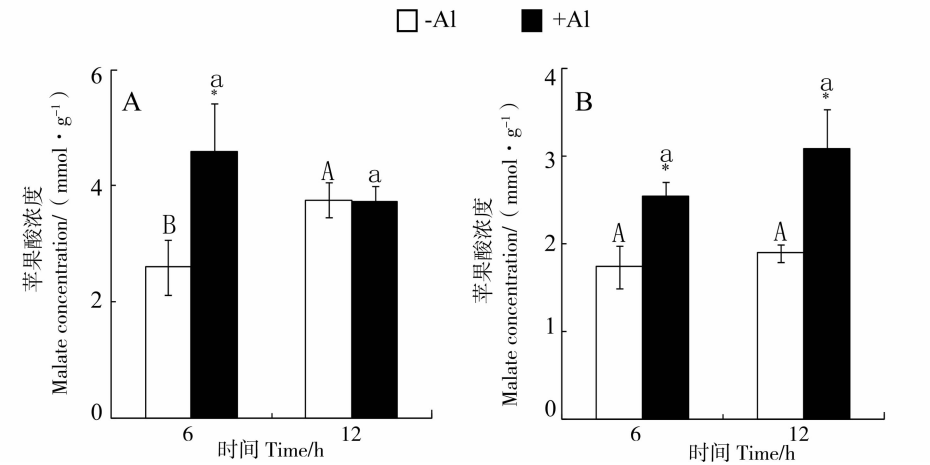
2.3 铝胁迫对大豆根系苹果酸浓度的影响

随着时间的延长,0~2 cm 根段的苹果酸浓度在不同条件下的变化不同。对照条件下,该根段的苹果酸浓度随时间延长略有增加,12 h 该根段的苹果酸浓度为 6 h 的 1.4 倍。但铝处理条件下,12 h 该根段的苹果酸浓度与 6 h 相比略有降低,但差异不显著。此外,铝处理 6 h 后该根段的苹果酸浓度明显高于对照,为对照的 1.8 倍($P<0.05$)。但 12 h 后,铝处理条件下该根段苹果酸的浓度和对照之间无明显差别(图 3A)。与 0~2 cm 根段不同,无论是在铝处理还是对照条件下,2~4 cm 根段苹果酸的浓度随时间延长几乎保持不变。但铝处理条件

下该根段的苹果酸浓度明显高于对照($P<0.05$)。如图 3B 显示,6 和 12 h 铝处理该根段苹果酸的浓度分别为对照的 1.5 和 1.6 倍。

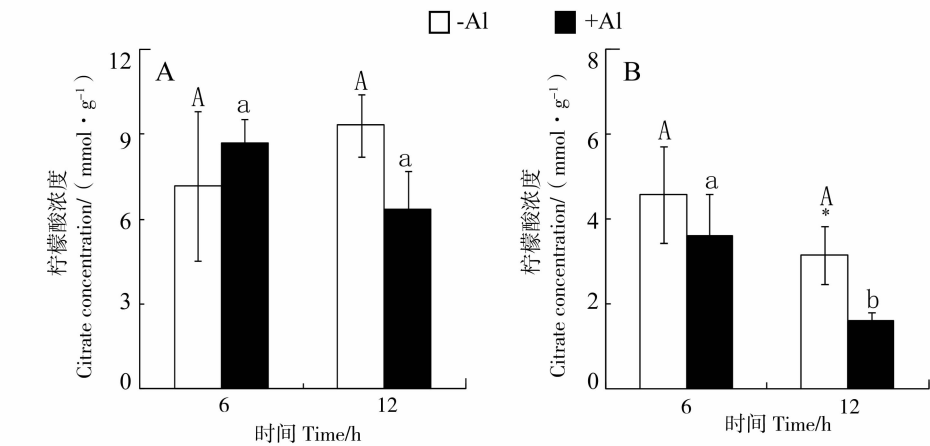
2.4 铝胁迫对大豆根系柠檬酸浓度的影响

大豆 0~2 cm 根段的柠檬酸浓度受外界环境的影响较小,铝处理和对照间无明显差别(图 4A)。对照条件下,2~4 cm 根段的柠檬酸浓度随时间延长变化不明显,但铝处理条件下该根段的柠檬酸浓度随时间延长而显著降低($P<0.05$)。此外,铝处理 6 h 该段的柠檬酸浓度与对照之间无明显差异。但铝处理 12 h 后该根段的柠檬酸浓度明显低于对照,仅为对照的 50%(图 4B)。



A:0~2 cm 根段;B:2~4 cm 根段。
A:0~2 cm root segments;B:2~4 cm root segments.

图 3 铝处理对大豆根尖苹果酸浓度的影响
Fig. 3 Effect of aluminum on malate concentration of soybean root segments



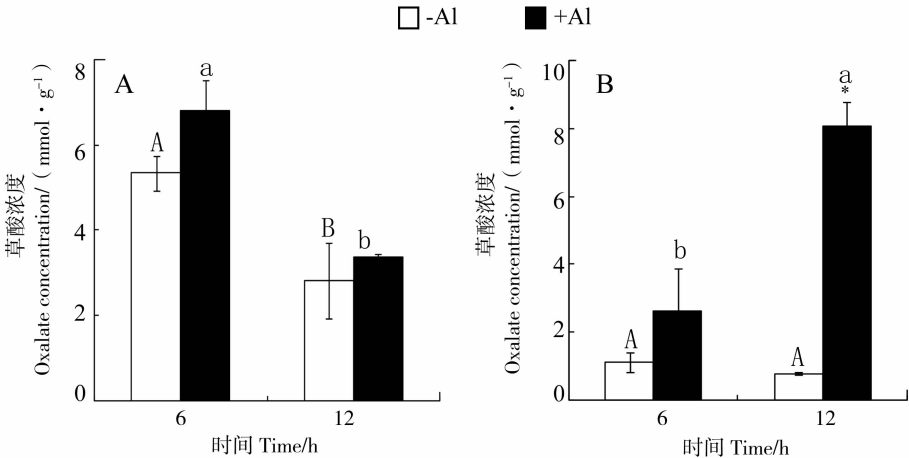
A:0~2 cm 根段;B:2~4 cm 根段。
A:0~2 cm root segments;B:2~4 cm root segments.

图 4 铝处理对大豆根尖 0~2 cm (A) 和 2~4 cm (B) 柠檬酸浓度的影响
Fig. 4 Effect of aluminum on citrate concentration of soybean different root segments

2.5 铝胁迫对大豆根系草酸浓度的影响

大豆 0~2 cm 根段的草酸浓度随着时间的延长而明显降低,12 h 对照和铝处理条件下该根段的草酸浓度分别比 6 h 降低了 47% 和 50%。但无论是 6 h 还是 12 h,该根段的草酸浓度在铝处理和对照间均无明显差别(图 5A)。与 0~2 cm 根段不同,2~4 cm 根段的草酸浓度在对照条件下随时间的延长

无明显变化。但铝处理条件下,该根段的草酸浓度随时间延长而显著增加($P<0.05$)。12 h 该根段的草酸浓度为 6 h 的 3 倍。此外,6 h 该根段的草酸浓度在铝处理和对照之间无明显差别;但 12 h 后,铝处理条件下该根段的草酸浓度明显高于对照,为对照的 10 倍($P<0.05$,图 5B)。



A:0~2 cm 根段;B:2~4 cm 根段。
A:0~2 cm root segments;B:2~4 cm root segments.

图5 铝处理对大豆根尖 0~2 cm (A) 和 2~4 cm (B) 草酸浓度的影响

Fig.5 Effect of aluminum on oxalate concentration of soybean different root segments

3 结论与讨论

铝毒害是酸性土壤中限制作物生长的重要因子。铝离子能使作物根系生长停滞,从而影响了作物产量^[2,4-8]。研究表明,由于铝在植物根尖的大量累积,植物的根尖部位,尤其是分生区和伸长区交界处成为铝毒害最敏感的部位^[2]。但对于根系其他部位是否累积铝,并影响根系生长鲜有报道。本研究以大豆为材料,通过水培试验分析了大豆幼苗根系铝积累对其根系生长的影响。结果显示,铝处理 24 h 后,大豆根系的生长已受到明显抑制,说明短时间铝处理能抑制大豆根系的生长。这与大多数植物根系生长对铝毒害的响应相似^[2,6-7]。但大豆不同根段的铝累积量随着时间变化的趋势不同。0~2 cm 根段的铝含量随铝处理时间的延长先增加后降低;而 2~4 cm 根段的铝含量随着铝处理时间的延长一直升高(图 2)。说明大豆根系不同部位的抗铝机制不同。Ma^[9]指出植物根尖部位包含了分生区和伸长区,铝胁迫条件下保持该区域细胞的活性对于根系的生长十分重要。因此,大豆根尖可能启动某些适应性机制,从而降低铝在根尖的积累,减少铝对根系的毒害。

已有的研究表明,植物有机酸的合成和累积在

植物铝毒害的内部忍耐机制中起着重要的作用^[9]。然而不同的植物中,铝诱导的有机酸的种类并不完全相同^[10-14]。本研究进一步对短时间铝处理后,大豆不同根段中苹果酸、柠檬酸和草酸浓度的变化进行了分析。发现所测定的 3 种有机酸中,仅苹果酸浓度在短时间(6 h)铝处理后明显增加。大豆根系苹果酸浓度的迅速提高有助于减少铝离子对根尖的伤害。与本研究结果相似,油菜和柱花草等植物根系的苹果酸浓度在铝处理条件下也明显提高^[13,15]。说明苹果酸浓度的提高是植物抗铝毒的普遍性适应机制。而大豆根尖柠檬酸和草酸的浓度不受铝处理的影响,说明这两种有机酸可能不参与大豆根尖短时的抗铝机制。另外,在铝处理 12 h 后,2~4 cm 的根段中的草酸浓度显著增加,说明草酸对大豆根尖外其他根段的抗铝性具有重要作用。但其具体分子机理还有待进一步研究。

参考文献

[1] von Uexküll H R, Mutert E. Global extent, development and economic impact of acid soils[J]. Plant and Soil, 1995, 171: 1-15.
[2] Kochian L V, Hoekenga O A, Piñeros M A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency [J]. The Annual Review of Plant Biology,

2004, 55: 459-493.

[3] Kinraide T B. Identity of the rhizotoxic aluminium species[J]. Plant and Soil, 1991, 134: 167-178.

[4] 林郑和,陈荣冰. 植物铝毒及其耐铝机制研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(13): 94-98. (Lin Z H, Chen R B. Research progresses on aluminum toxicity and tolerance machanisms in plants[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(13): 94-98.)

[5] Liu J, Piñeros M A, Kochian L V. The role of aluminum sensing and signaling in plant aluminum resistance[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2014, 56(3): 221-230.

[6] 陈泰林, 钱春梅, 张建军, 等. 植物铝胁迫响应机制的研究进展[J]. 热带农业科学, 2010, 30: 37-48. (Chen T, Qian C, Zhang J, et al. Advances of mechanism of plant response to aluminum stress[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2010, 30: 37-48.)

[7] 王月平, 章艺, 吴玉环, 等. 植物铝毒害及抗铝毒机制[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(19): 3900-3903. (Wang Y, Zhang Y, Wu Y, et al. Mechanism of aluminum toxicity and resistance in plant[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2011, 50(19): 3900-3903.)

[8] Kochian L V, Piñeros M A, Liu J, et al. Plant adaptation to acid soils: The molecular basis for crop aluminum resistance[J]. The Annual Review of Plant Biology, 2015, 66:571-589.

[9] Ma J F. Role of organic acids in detoxification of aluminum in higher plants [J]. Plant and Cell Physiology, 2000, 41: 383-390.

[10] Ma J F, Hiradate S, Nomoto K, et al. Internal detoxification mechanism of Al in hydrangea: Identification of Al form in the leaves[J]. Plant Physiology, 1997, 113:1033-1039.

[11] Ma J F, Hiradate S, Matsumoto H. High aluminum resistance in buckwheat: II. Oxalic acid detoxifies aluminum internally [J]. Plant Physiology, 1998, 117: 753-759.

[12] Ma J F, Hiradate S. Form of aluminium for uptake and translocation in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) [J]. Planta, 2000, 211: 355-360.

[13] SunL, Liang C, Chen Z, et al. Superior aluminium (Al) tolerance of stylosanthes is achieved mainly by malate synthesis through an Al-enhanced malic enzyme, SgME1 [J]. New Phytologist, 2014, 202(1): 209-219.

[14] Dong D, Peng X, Yan X. Organic acid exudation induced by phosphorus deficiency and/or aluminium toxicity in two contrasting soybean genotypes [J]. Physiologia Plantarum, 2004, 122: 190-199.

[15] Ligaba A, Shen H, Shibata K, et al. The role of phosphorus in a-luminium-induced citrate and malate exudation from rape (*Brassica napus*) [J]. Physiologia Plantarum, 2004, 120: 575-584.

大豆异卵磷脂的营养价值和相关功效

“卵磷脂”由希腊文“Lekiths”派生出来,意指“蛋黄”。1844 年法国人 Gohley 从蛋黄中发现卵磷脂(蛋黄素),并以希腊文命名为 Lecithos(卵磷脂英文名为 Lecithin)也自此揭开了卵磷脂神秘的面纱。因为自开始是从卵黄中提取的,所以,最开始命名的“卵磷脂”中实际包含有以下几个成分:磷脂酰胆碱、磷脂酰乙醇胺,磷脂酰肌醇等。自然界中各种油料中都含有磷脂,但其含量并不相同,在几种常见的油料种子中,以大豆和棉籽最多,油菜籽次之。大豆卵磷脂是精制大豆油过程中的副产品。可以形成工业化生产的是以大豆为主,所以,就有了“大豆磷脂”或者“大豆卵磷脂”这一名词。大豆磷脂的一般组成是:磷脂酰胆碱 PC(卵磷脂)25% ~32%、磷脂酰乙醇胺 PE(脑磷脂)15% ~22%、磷脂酰肌醇 PI(肌醇磷脂)15% 左右、磷脂酰甘油 PG(神经鞘磷脂)16% 左右、磷脂酸 PA 4% 左右、其它磷脂 8% 左右。蛋黄磷脂与大豆磷脂主要区别是:其含有磷脂酰胆碱高达 70%,磷脂酰肌醇只有 0.6%,不含磷脂酸、磷脂酰丝氨酸、N - 酰基磷脂酰乙醇胺,磷脂酰甘油。

大豆卵磷脂是一种生命基础物质,它不仅是构成人体生物膜的重要组成部分,而且是胆碱和脂肪酸的一个来源,它对维持生物膜的生理活性和机体的正常代谢起关键作用,被誉为“血管清道夫”,是一种功能全面的营养品,经常补充,对于预防和改善心脑血管疾病、健脑益智、防止脂肪肝和肝硬化、美化肌肤,有非常重要的作用。大豆卵磷脂是细胞膜的组成部分,增强细胞信息传递能力提高大脑活力,提升细胞膜自我修复能力保护肝脏,抵御外部侵害能力。市面上粒状的大豆卵磷脂,是大豆油在脱胶过程中沉淀出来的磷脂质,再经加工、干燥之后的产品。纯品的大豆卵磷脂为棕黄色蜡状固体,易吸水变成棕黑色胶状物。在空气中极易氧化,颜色从棕黄色逐步变成褐色及至棕黑色,且不耐高温,80℃ 以上便逐步氧化酸败分解。大豆卵磷脂中含有卵磷脂、脑磷脂、心磷脂、磷脂酸(PA)、磷脂酰甘油(PG)、缩醛磷脂、溶血磷脂等。具有延缓衰老、预防心脑血管疾病等作用。