

铝对荞麦根系的影响

王芳, 刘鹏, 徐根娣, 罗丽兰

(浙江师范大学 化学与生命科学学院, 浙江 金华 321004)

摘要: 以荞麦为试材, 用五种剂量的铝进行土培, 发现低浓度(0.435+0.6 g Al³⁺/kg 土)的铝能增加荞麦的总根长、根尖数和根系活力, 减小根平均直径, 降低根质膜透性, 对荞麦生长有一定的促进作用; 高浓度的铝(0.435+1.2 g Al³⁺/kg 土)会使荞麦的根变短、变粗、侧根减少, 根系活力下降, 根质膜透性升高, 明显不利于荞麦的生长发育。

关键词: 荞麦; 铝; 根系

中图分类号: Q945.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2006)03-0321-04

Effects of aluminium amount in soil on the root growth of buckwheat

WANG Fang, LIU Peng, XU Gen-di, LUO Li-lan

(College of Chemistry and Life Science, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: Effect of aluminum on root growth of buckwheat was studied under different treatments of Al(aluminum)(0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 g · kg⁻¹). The results indicated that low Al(0.6 g · kg⁻¹) content in soil promotes root growth of buckwheat by increasing total root length, number of root tips, and root activity and decreasing membrane permeability of the root cells and average diameter of root. High Al(1.2 g · kg⁻¹) restrains growth of buckwheat by significantly inhibiting root elongation, thickening of root diameter, reducing root activity and greatly increasing membrane permeability of the root cells.

Key words: buckwheat; aluminium; root of buckwheat

铝是地壳中含量最丰富的金属元素, 自然条件下, 铝通常以难溶性的硅酸盐或氧化铝的形式存在, 对植物没有毒害(沈宏等, 2001)。但近年来由于化肥的使用和酸雨的影响, 土壤酸度增加, 使难溶性铝转化成可溶性铝, 从而对植物产生毒害, 因而酸性土壤中(pH<5)的植物面临着铝胁迫。我国的酸性土壤占全国土地总面积的 22.7%(黄邦全等, 2001), 因此酸性土壤中的铝已经成为制约我国农业发展的重要因素之一。目前对酸性土壤的治理方法投入大, 操作困难, 长期使用会破坏土壤, 影响生态平衡,

因而从长远看, 选用培育耐铝品种是最经济、有效和无污染的根本措施。

荞麦是抗铝性较强的作物, 原产我国, 一直是我国的传统经济作物。多年来, 农业、医学及食品营养学的研究表明荞麦不仅在营养价值上居于粮食作物之首, 而且拥有得天独厚的药用价值, 近年来我国对荞麦的需求逐年增加, 因而研究铝毒对荞麦的影响, 具有重要的现实意义。

通常认为, 植物对铝毒害的反应首先表现在根系上(Rengel, 1992; Kollmeier 等, 2000), 根系率先

收稿日期: 2004-12-31 修回日期: 2005-06-23

基金项目: 浙江省自然科学基金(304186, 304185, 504135, 303461); 浙江省分析测试基金(03091)资助[Supported by Natural Science Foundation of Zhejiang Province(304186, 304185, 504135, 303461); Analytical Measurement Foundation of Zhejiang Province(03091)]

作者简介: 王芳(1972-), 女, 宁夏银川人, 讲师, 博士研究生, 从事植物生理生化及食品生化研究。

在形态上和生理特征上对铝毒胁迫产生反应,因此通过研究铝毒对植物根系的影响,可进一步探讨植物对铝毒的胁迫生理和耐性。有关铝胁迫对荞麦和其他植物根系的影响已有一些研究报道(Shen等,2004;Jian等,2003;Deborah等,2003;Čiamporová,2002;方金梅等,2003;闫世才等,2003),但专门系统研究铝胁迫下荞麦根系形态特性和生理特性的报道较少。本文以不同的铝浓度处理,研究荞麦根系的形态和生理特性的变化,以期弄清植物的抗铝机理提供理论依据。

1 材料与方 法

供试材料为荞麦(*Fagopyrum esculentum* Moench),品种为内蒙古产小白花。

试验设计:室外土培荞麦,每桶装土5 kg,供试土壤取自浙江师范大学校园内的酸性红壤,土壤的基本性状为:pH=5.96;有机质18.2 g/kg;阳离子代换量3.94 cmol/kg;水溶性盐总量2.64 g/kg;全氮0.53 mg/kg;水解氮22.8 g/kg;速效磷60.4 mg/kg;速效钾147.9 mg/kg,活性铝0.435 g/kg。每桶施入基肥(尿素2.14 g、磷酸二氢钙1.17 g、氯化钾1.58 g、钼酸铵0.02 g、四硼酸钠0.04 g),用 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ (分析纯)溶液来处理土壤,共设5个铝浓度,分别为CK(对照),R1(0.3 g Al^{3+} /kg土),R2(0.6 g Al^{3+} /kg土),R3(0.9 g Al^{3+} /kg土),R4(1.2 g Al^{3+} /kg土),每个浓度3个重复。在荞麦整个生长期均以蒸馏水灌溉。

取样:分别于荞麦播种下去的第40 d、第55 d、第70 d取荞麦的根用于测定。

测定方法:(1)膜相对透性的测定:采用电导仪(DDS-11D型)法(张宪政,1991),用电解质外渗率表示膜的相对透性;(2)根系活力的测定:根系活力采用TTC法(袁晓华等,1983),用每1 h每1 g鲜重还原的TPF的微克数 $\mu g TPF \cdot g^{-1} Pr \cdot h^{-1}$ 来表示;(3)根系形态分析:根系形态采用STD1200P根系分析仪进行分析。

2 结果与分析

2.1 铝对荞麦根系形态的影响

由表1可以看出,低浓度的铝使荞麦的总根长增加,R2(0.6 g \cdot kg⁻¹)处理下的荞麦,总根长达对

照的200.36%,而高浓度的铝则使荞麦的总根长下降,在R3(0.9 g \cdot kg⁻¹)、R4(1.2 g \cdot kg⁻¹)处理过的荞麦中总根长分别比对照减少了49.88%和65.32%;从表1中还可以看出,R1(0.3 g \cdot kg⁻¹)、R2(0.6 g \cdot kg⁻¹)处理下荞麦的根变细,分别为对照的94.44%和91.67%,而R3(0.9 g \cdot kg⁻¹)、R4(1.2 g \cdot kg⁻¹)处理则使荞麦的根变粗,根平均直径与对照相比分别增大了2.78%和8.33%;根尖数也表现出在低浓度铝的作用下增加、高浓度铝的作用下减少的趋势,在R2(0.6 g \cdot kg⁻¹)和R4(1.2 g \cdot kg⁻¹)处理下分别达对照的202.04%和26.53%。提示低浓度的铝能促进荞麦根系的生长,而高浓度的铝则产生抑制作用。

表1 铝对荞麦根系形态的影响
Table 1 Effect of aluminum on root configuration of buckwheat

铝浓度 Content of Al (g \cdot kg ⁻¹)	根长(cm) Total length of roots	根平均直径(cm) Average diam of root system	根尖数(个) Tips of roots
0.435+0.0	24.80±4.86 *	0.36±0.013	98±41 **
0.435+0.3	25.75±12.46	0.34±0.078	110±42 *
0.435+0.6	49.69±10.59	0.33±0.048	198±30
0.435+0.9	12.43±2.89 **	0.37±0.032	45±11 **
0.435+1.2	8.60±2.53 **	0.39±0.038	26±3 **

* 表示 T 检验显著; ** 表示 T 检验极显著。

* meaned significant(p<0.05); ** meaned very significant(p<0.01).

2.2 铝对荞麦根质膜透性的影响

植物在逆境胁迫或衰老过程中,细胞原生质膜中的不饱和脂肪酸发生过氧化作用,使质膜系统受到伤害,其选择透性降低,细胞内电解质外渗量增加,从而对植物产生伤害。因而细胞膜透性(电解质外渗量)可表示膜伤害或变性程度(孙文越等,2001;Cakmak等,1994)。可以用以衡量植物对外界逆境的抵御能力,图1显示,在铝处理40 d时,0.3 g \cdot kg⁻¹和0.6 g \cdot kg⁻¹的铝处理使荞麦根系质膜透性下降(分别比对照下降12.82%和38.46%),0.9 g \cdot kg⁻¹和1.2 g \cdot kg⁻¹处理则使其增加(分别比对照增加5.13%和10.26%);55 d时也表现出类似的变化趋势,但0.6 g \cdot kg⁻¹的铝处理下的特殊现象有待于进一步研究;70 d时,CK、R1、R2处理下的质膜透性变化不大,R3处理下质膜透性则明显增加,达对照的208%,而此时R4处理的荞麦已经死亡。另外,随着生育的进程,CK、R1处理的荞麦根系质膜透性逐渐下降,这可能是由于荞麦根系细胞逐渐生

长成熟的缘故,而 R3、R4 处理下随着胁迫时间的延长质膜透性有所增加。这说明较低浓度的铝会对荞麦根系细胞起到一定的保护作用,而较高浓度的铝则会使细胞膜遭受破坏而使胞内物质外渗,对细胞造成伤害。

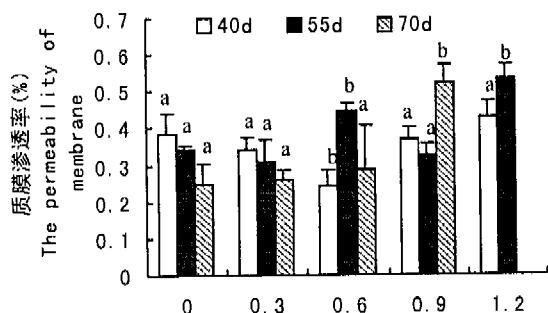


图 1 加入铝的剂量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)对荞麦根系质膜透性的影响
Fig. 1 Effect of aluminum amount($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)added into soil on membrane permeability in root of buckwheat

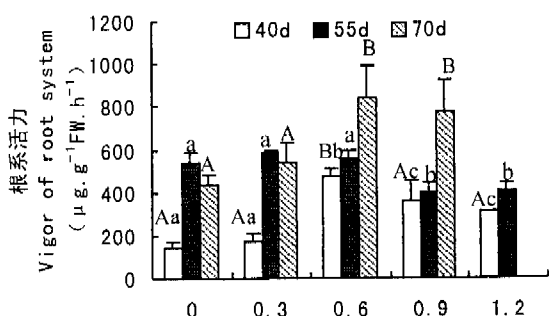


图 2 加入铝的剂量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)对荞麦根系活力的影响
Fig. 2 Effect of aluminum amount($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)added into soil on root vigor of system in buckwheat

2.3 铝胁迫下荞麦根系活力的变化

根系活力泛指根系的吸收、合成、氧化和还原能力等,是一种客观地反映根系生命活动的生理指标。在逆境条件下,植物根系受到伤害,会使根系活力下降,根系吸收水分和无机盐的能力下降,最终使整个植株的生命活动受到一定的抑制。图 2 显示,在各种铝处理条件下荞麦的根系活力的变化趋势与根系细胞质膜透性的变化恰恰相反,即 $0.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的铝处理使荞麦根系活力增加,且 $0.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的铝处理使荞麦根系活力的增加幅度最大,40 d、55 d 和 70 d 分别为对照的 330%、103.78% 和

193.70%。 $0.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的铝处理则又使荞麦的根系活力有所降低。另外,从根系活力的动态变化来看,根系活力有随着幼苗的长大而逐渐增加的趋势。

3 讨论

通常认为,植物对铝毒害的反应首先表现在根系上(Rengel, 1992; Kollmeier 等, 2000),因此通过研究铝毒对植物根系的影响,可进一步探讨植物地上部对铝毒的胁迫生理和耐性。在研究或作物抗铝毒筛选指标时,一般都将植物的总根长、侧根数目、根平均直径、主根伸长量或根系生物量(Deborah 等, 2003; Delhaize 等, 1995; Garvin 等, 2003)作为指标,其中以主根长度作为主要指标得到大多数人的肯定。我们的研究表明,铝对荞麦的总根长、平均根系直径、根尖数及根系质膜透性和根系活力都有明显的影响,这些指标都在一定程度上反映出铝对荞麦根系的影响,但从各处理间的差距来看,不同铝处理条件下,荞麦的总根长的变化幅度最大,因为总根长不仅包括了主根在铝胁迫下的变化,而且还包括了侧根和分枝根对铝胁迫的反应,更能准确地表达植物根系对铝的综合反应,因而在植物铝胁迫根系研究或作物抗铝毒筛选指标研究时可考虑优先采用单株的总根长度这个指标。

有关研究(方金梅等, 2003; 闫世才等, 2003; 刘鹏等, 2003, 2004; Petra 等, 2000)表明,虽然铝不是植物的必需元素,但微量的铝对植物生长有促进作用,过量的铝才对植物产生危害。本次实验中,在活性铝含量为 $0.435 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土壤中, $0.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 铝处理各项根系形态和生理的结果都有利于荞麦的生长,而 $1.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 铝处理则抑制荞麦根系的生长。本试验显示,适量的铝(R1、R2)能增加荞麦总根长、和根尖数、减小根平均直径、使荞麦的根系活力旺盛,有利于荞麦充分吸收土壤深层的水分及矿质元素,同时适量铝能维持细胞膜的完整性、稳定性,降低质膜透性,减少细胞内的外渗物,为细胞抵御不良外界环境提供了良好的生理基础,有效增强了荞麦抵御逆境的能力,这样可能有利于荞麦的进一步生长和发育,保证荞麦高产稳产。而超过一定铝浓度后(R3、R4),荞麦的根系显著变短,侧根显著减少,根变粗,这在铝对其他植物的研究中也得到证实(方金梅等, 2000),有研究表明,根系的增粗是大豆在铝

毒胁迫下的明显反应(Kochian, 1995; Matsumoto, 2000), 本研究中荞麦也表现出相同反应特征, 植物根尖在铝毒胁迫下细胞木质素积累显著增加, 细胞分裂和伸长受阻, 而导致根系增粗(Kollmeier 等, 2000; Deborah 等, 2003; Čiamporová, 2002), 且根系平均直径增加越多, 表明铝毒的胁迫也越严重, 对荞麦根系生长的抑制作用越强烈; 而且荞麦根系活力受到明显抑制, 这将使得根逐渐失去吸收水分和营养素的能力, 同时荞麦的根细胞的质膜透性增大, 胞内电解质外渗率增加, 细胞受损, 代谢紊乱。有研究发现, 根系活力与植物的耐铝性有一定的关系(Jian 等, 2003), 孔繁翔等(2000)认为铝可与细胞膜的磷脂和膜蛋白结合, 改变膜的结构和功能, 增加膜的渗透性, 本实验也证实了这一点, 经 R4 铝浓度处理的荞麦在第 70 d 时已经死亡, 说明荞麦已经不能通过产生调节物质降低质膜的受损程度。

参考文献:

- 方金梅, 应朝阳, 陈恩, 等. 2000. 铝胁迫对不同决明品系幼苗生长影响的试验[J]. 福建农业科技, (6): 15-17.
- 方金梅, 应朝阳, 黄毅斌, 等. 2003. 铝胁迫对水土保持牧草幼苗根系的影响[J]. 中国水土保持, (7): 30-32.
- 张宪政. 1991. 作物生理研究法[M]. 北京: 农业出版社.
- 袁晓华, 杨中汉. 1983. 植物生理生化实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 128-133.
- Cakmak I, Hengeler C, Marschner H. 1994. Partition of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency[J]. *J Experimental Bot*, **45**: 1 245-1 250.
- Čiamporová M. 2002. Morphological and structural response of plant roots to aluminium at organ, tissue and cellular levels[J]. *Biologia Plantarum*, **45**: 161-171.
- Deborah A, Tesfaye M. 2003. Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils-a review[J]. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, **75**: 189-207.
- Delhaize E, Peter RR. 1995. Aluminum toxicity and tolerance in plants[J]. *Plant Physiol*, **107**: 315-312.
- Garvin DF, Carver BF. 2003. Handbook of Soil Acidity[M]// Rengel Z. Role of the genotype in tolerance to acidity and aluminum toxicity. New York: Marcel Dekker Inc, 387-407.
- Huang BJ(黄邦全), Bai JH(白景华), Xue XQ(薛小桥). 2001. Advances in studies on Aluminum toxicity and tolerance in plants(植物铝毒害及遗传育种研究进展)[J]. *Chin Bull Bot(植物学通报)*, **18**(4): 385-395.
- Jian Feng Ma, Jun Furukawa. 2003. Recent progress in the research of external Al detoxification in higher plants; a mini-review[J]. *Journal of Inorganic Biochemistry*, **97**: 46-51.
- Kong FX(孔繁翔), Sang WL(桑伟莲), Jiang X(蒋新), et al. 2000. Aluminum toxicity and tolerance in plants(铝对植物毒害及植物抗铝作用机理)[J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, **20**(5): 855-862.
- Kochian LV. 1995. Cellular mechanisms of Al toxicity and resistance in plants[J]. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **46**: 237-260.
- Kollmeier, Helle HH, Horst W. 2000. Genotypic difference in Al resistance of maize are expressed in the distal part of the transition zone. Is reduced basipetal in the distal auxin flow involved in inhibition of root elongation by Al[J]. *Plant Physiology*, **122**: 945-956.
- Liu P(刘鹏), Xu GD(徐根娣), Jiang XM(姜雪梅), et al. 2003. The effect of Aluminum on seed germination of soybean(铝对大豆种子萌发的影响)[J]. *Seed(种子)*, (1): 30-32.
- Liu P(刘鹏), Xu GD(徐根娣), Jiang XM(姜雪梅), et al. 2004. Effects of Aluminum on Membrane Lipid Peroxidation and Endogenous Protective System of Soybean Seedling(铝对大豆幼苗膜脂过氧化和体内保护系统的影响)[J]. *J Agro-Environ Sci(农业环境科学学报)*, **23**(1): 51-54.
- Matsumoto H. 2000. Cell of biology of aluminium toxicity and tolerance in higher plants[J]. *International Review of Cytology*, **200**: 1-46.
- Petra SK, Proctor J. 2000. Effects of aluminium on the growth and mineral composition of *Betula pendula* Roth[J]. *J Experimental Bot*, **51**: 1 057-1 066.
- Rengel Z. 1992. Disturbance of cell CO₂-homeostasis as primary trigger of toxicity syndrome[J]. *Plant Cell Env*, **15**: 931-938.
- Sun WY(孙文越), Wang H(王辉), Huang JC(黄久常). 2001. The effect of external betaine on membrane lipid peroxidation of wheat seedling under water stress(外来甜菜碱对干旱胁迫下小麦幼苗膜脂过氧化作用的影响)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin(西北植物学报)*, **21**(3): 487-491.
- Sheng H(沈宏), Yan XL(严小龙). 2001. Types of Aluminum toxicity and plant resistance to Aluminum toxicity(铝对植物的毒害和植物抗铝毒机理及其影响因素)[J]. *Chin J Soil Sci(土壤通报)*, **32**(6): 281-285.
- Shen RF, Takashi I, Ma JF. 2004. Form of Al changes with Al concentration in leaves of buckwheat[J]. *J Experimental Bot*, **55**(394): 131-136.
- Yan SC(闫世才), Mao XW(毛学文), Yang YL(杨勇理). 2003. The effect of Aluminum on growth of pea(铝对豌豆生长的影响)[J]. *Chin J Ecol(生态学杂志)*, **22**(2): 80-81.