

铝浸种对荞麦种子萌发和幼苗生理的影响

李朝苏, 刘 鹏*, 徐根娣, 张文君, 陈微微, 王保义

(浙江师范大学植物学实验室, 浙江 金华 321004)

摘要:对 2 个荞麦 (*Fagopyrum esculentum* Moench) 品种(小白花叶和溪荞 5 号)在铝浸种后萌发特性和幼苗的生理变化进行了初步研究。结果表明, 10 ~ 1000 mg·L⁻¹ 的铝浸种处理对 2 个荞麦品种的发芽率和发芽指数影响不明显, 低浓度铝 (≤ 100 mg·L⁻¹) 处理可降低荞麦种子细胞膜透性, 减少细胞内营养物质的外渗, 促进种子的萌发。5000 mg·L⁻¹ 的铝处理降低了荞麦的发芽指数。种子萌发后, 铝对荞麦根的伸长有抑制作用, 并且随着铝浓度的增加, 抑制作用增大。10 ~ 1000 mg·L⁻¹ 的铝浸种处理对荞麦叶片内 MDA 含量影响较小, 但高浓度的铝处理 (5000 mg·L⁻¹) 明显增加了 MDA 的含量; POD、SS、Pro 随着铝浓度增加都有先降低后增加的趋势; 不同品种叶片内 CAT 活性变化趋势不同, 小白花叶内 CAT 活性对铝的敏感性大于溪荞 5 号。试验结果可以看出, 荞麦种子和幼苗对环境中的铝都有较强的耐受性, 在铝胁迫下, 荞麦可以通过升高 POD 活性以及增加 SS 和 Pro 含量来缓解铝毒害, 不同荞麦的基因型对铝毒害的反应有一定的差异性。

关键词: 铝; 荞麦; 种子萌发; 幼苗生理

文章编号: 1000-0933(2006)06-2041-07 **中图分类号:** Q945.1, Q948.116, S311, S314 **文献标识码:** A

Effect of seed soaking with aluminum on seed germination and seedling physiology of buckwheat

LI Chao-Su, LIU Peng*, XU Gen-Di, ZHANG Wen-Jun, CHEN Wei-Wei, WANG Bao-Yi (Key Laboratory of Botany, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 2041 ~ 2047.

Abstract: Aluminum (Al) toxicity is a serious agricultural problem in acid soils which account for about 40% of the world's arable land. Tolerance study on the Al toxicity in some resistant plants is helpful to find an economic and sustainable approach for improving crop production on acid soils. In this research, two buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) varieties' (Xiaobaihua and Xiqiao No.5) seeds were soaked in Al solutions (0, 10, 100, 1000 and 5000 mg·L⁻¹ Al³⁺) for 5 hours to investigate the effect of Al on seeds germination and seedling growth.

The result indicate 10 and 100 mg·L⁻¹ Al³⁺ soaking can decrease the seeds membrane permeability by 6.2%、34.3% in Xiaobaihua and 54.7%、44.6% in Xiqiao No.5. Accordingly, less main nutrition substance accumulated in seeds was leaked. Al (10 ~ 5000 mg·L⁻¹ Al³⁺) soaking can not significantly change the germination percentage of two varieties, but 5000 mg·L⁻¹ Al³⁺ can restrain the germination index and the vigor index by 3.2% and 23.2% in Xiaobaihua, 46.3% and 41.6% in Xiqiao No.5. After seed germination, Al inhibited the root elongation by 7.0% ~ 50.1% in Xiaobaihua, 12.1% ~ 39.6% in Xiqiao No.5. On the seventh days after germination, 10、100、1000 mg·L⁻¹ Al³⁺ had no significant effects on the malonaldehyde (MDA) content in buckwheat leaves of two varieties compared with the control. However 5000 mg·L⁻¹ Al³⁺ increased the MDA content by 19.1% and 9.6% in Xiaobaihua and Xiqiao No.5 respectively. 5000 mg·L⁻¹ Al³⁺ also promoted the activity of peroxidase

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30540056);浙江省自然科学基金资助项目(405135, 303461)

收稿日期: 2005-02-18; **修订日期:** 2005-09-20

作者简介: 李朝苏(1980~), 男, 山东菏泽人, 硕士生, 主要从事植物生理生态和植物营养研究. E-mail: xiaoli1755@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sky79@zjnu.cn

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30540056), Natural Science Foundation of Zhejiang Province (No. 405135, 303461)

Received date: 2005-02-18; **Accepted date:** 2005-09-20

Biography: LI Chao-Su, Master candidate, mainly engaged in plant ecophysiology and plant nutrition. E-mail: xiaoli1755@163.com

(POD) by 53.4% in Xiaobaihua leaves and 11.6% in Xiqiao No.5. Lower concentrations of Al can decrease the content of soluble sugar (SS) and proline (Pro) in the leaves of two varieties. Higher concentrations, especially $5000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Al}^{3+}$, can increase the content of SS and Pro by 42% and 18.1% in Xiaobaihua, 68.1% and 12.6% in Xiqiao No.5. The reaction of catalase (CAT) to Al in two varieties was different. The CAT activity in leaves of Xiaobaihua was more sensitive to Al than that in Xiqiao No.5. The testing dates showed that buckwheat seeds and seedlings had high resistance to Al, and lower concentrations of Al could promote germination of buckwheat seeds by decreasing the membrane permeability. The promotion of POD activity and the increasing of SS and Pro contents in two varieties' leaves played an important part under Al stress. And different buckwheat varieties had different reaction to Al.

Key words: aluminum; buckwheat; seed germination; seedling physiology

铝毒害已成为酸性土壤中植物生长最主要的限制因素^[1,2]。通过根系吸收进入植物体内的可溶性铝可以和膜脂、膜蛋白以及细胞内的蛋白质、酶、核酸等生物大分子结合,影响了细胞膜的结构稳定性以及细胞内物质代谢过程,进而影响植物的正常生长^[3]。我国有 0.2 亿 hm^2 的酸性红壤,遍及南方 15 个省区,约占全国土地总面积的 21%。近年来,由于农业生产中生理酸性肥料的广泛使用以及酸雨的频繁沉降,土壤的酸化加剧,活性铝的溶出日益增多^[4]。开展铝对植物的毒害机理以及耐铝植物的耐性机制的研究日益受到重视。荞麦(*Fagopyrum esculentum* Moench)属于蓼科植物的荞麦属。研究证实,和小麦、油菜(*Brassica napus* L.)等其他作物相比,荞麦有较强的铝耐受性^[5],因此荞麦是研究植物耐铝机理的理想材料。Ma 和 Zheng 分别研究了铝诱导荞麦根系有机酸的分泌及其在细胞内外的解铝毒机理^[6,7],Peng 研究了耐铝性不同的荞麦品种在铝胁迫下草酸分泌的差异性^[8],Shen 最近报道了铝在荞麦体内的运输、分配以及荞麦叶内铝存在形式随外界铝浓度的变化规律^[9,10]。植物的耐铝性是植物体外部的拒铝机理(如 pH 屏障、有机酸的分泌以及细胞壁的结合等)和内部的解铝机理(如液泡的分隔作用、金属诱导蛋白的合成以及抗氧化系统的变化)综合作用的结果^[3],但近几年来国内外有关荞麦耐铝性的研究都关注于铝胁迫下荞麦根系有机酸分泌机制及其解铝毒机理,而对于荞麦的内部解铝毒机理特别是体内抗氧化系统在铝胁迫下的变化规律研究较少。本文以来自不同地区的 2 个荞麦品种为实验材料,通过用不同浓度的铝浸种处理,从种子萌发开始,探索耐性植物生长早期对铝胁迫的反应,为进一步研究植物耐铝的生理生化机制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

供试材料:供试荞麦为内蒙古产小白花和浙江产溪荞 5 号,两个荞麦品种的纯度均大于 95%,净度大于 99%,发芽率高于 85%,含水率小于 8%。

供试铝肥:硫酸铝(分子式 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$),为分析纯。

1.2 试验设计

邹邦基研究表明,土壤水溶液中活性铝达到 $10 \sim 20 \times 10^{-6}$ 以上时,大多数植物就会就会受影响^[11]。而预试验结果表明, $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的铝处理对荞麦种子的萌发和幼苗生理特性影响不明显,只有 $5000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的铝处理时才和对照有显著性差异。因此本次试验的铝浓度设置为:10、100、1000、 $5000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。选取健康饱满的荞麦种子各 600 粒浸没于不同浓度的铝溶液中(200ml),采用蒸馏水作对照,5h 后种子完全浸透,取出洗净,置于垫有一层湿润滤纸的培养皿中,每皿 100 颗,室内培养,每天喷洒适量蒸馏水保持滤纸湿润。每个试验处理 6 次重复。

1.3 测定方法

1.3.1 种子萌发和出苗情况的观察 种子转移到培养皿后,以胚根突破种皮 1mm 为发芽标准,每隔 24h 统计一次种子的发芽数,连续 3d 发芽种子数无增长视为发芽完全,发芽结束后计算发芽指数。第 7 天时,各处理的种子发芽已全部完成,此时测定幼苗的平均根长、平均根重(干、鲜),平均茎重(干、鲜),计算活力指数^[12]:

$$\text{发芽率}(\%) = \text{正常发芽的种子数} \div \text{供试种子数} \times 100\%$$

$$\text{发芽指数} = \sum Gt / Dt \quad (Gt \text{ 为 } t \text{ 时间内的发芽数, } Dt \text{ 为相应的发芽天数})$$

$$\text{活力指数} = \text{发芽指数} \times \text{第7天幼苗根鲜重}$$

1.3.2 生理生化指标的测定 浸种液中蛋白质和可溶性糖含量的测定,蛋白质浓度采用紫外分光光度法^[13],可溶性糖的浓度采用TBA法^[14];萌发种子膜透性的测定,取浸种后的10粒种子用重蒸水洗净放入装有15ml重蒸水的试管中,采用电导法^[15];萌发结束后第7天,取荞麦完全展开的叶片测定各项生理指标,丙二醛(MDA)和可溶性糖(SS)的含量采用TBA法^[14],游离脯氨酸(Pro)含量采用酸性茚三酮法^[14],过氧化物酶(POD)的活性采用愈创木酚法^[14],过氧化氢酶(CAT)的活性采用硫代硫酸钠滴定法^[16]。

1.4 数据分析

采用SPSS 12.0统计软件进行SSR显著性检验($p < 0.05$),采用Excel 2000软件制图。

2 结果和分析

2.1 铝浸种对荞麦种子膜透性和营养物质渗漏的影响

种子细胞膜结构的稳定可以保证萌发时细胞内各种反应的正常进行,并且降低细胞内营养物质的渗出。从表1可以看出,低浓度($10 \sim 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)的铝处理降低了荞麦种子膜透性,和对照相比,小白花的降幅为6.2%~33.3%,溪养5号的降幅为44.6%~54.8%。相应地,2个荞麦品种浸种液中蛋白质和可溶性糖含量也有不同程度的降低。 $5000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的铝处理显著增加了2个荞麦品种种子的膜透性($p < 0.05$),和对照相比,小白花和溪养5号增幅分别为113%和78.3%。细胞膜透性的增大造成种子内营养物质外渗增多,但此时溪养5号浸种液蛋白质和可溶性糖含量仍低于对照组,这可能是因为铝对荞麦种子内分解营养物质酶的活性有抑制作用。

2.2 铝浸种对荞麦种子发芽的影响

表2是2个荞麦品种铝浸种后的萌发状况,从中可以看出不同浓度的铝对2个荞麦品种的最终发芽率和50%萌发天数影响不明显。低浓度的铝($10 \sim 100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)提高了2个荞麦品种的发芽指数,但和对照之间差异不显著($p > 0.05$), $5000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的铝处理降低了发芽指数,其中小白花降低3%,溪养5号降低46.3%,和对照有显著性差异($p < 0.05$)。铝对2个荞麦品种的活力指数影响相同,随着铝浓度的增加都呈现出先增加后降低的趋势,小白花和溪养5号分别在 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达到最大值,和对照相比增幅分别为20.1%和49.8%。

2.3 铝浸种对荞麦幼苗生长势的影响

表3反映了不同浓度的铝浸种后荞麦幼苗根长、根重和茎重的变化规律。结果可以看出,铝对荞麦幼根的伸长有抑制作用,随着铝浓度升高抑制作用不断增大, $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的处理时2个荞麦品种的最长根长和对照已有显著性差异($p < 0.05$), $5000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的处理对荞麦幼根伸长的抑制作用最大,此时小白花和溪养5号的平均根长分别比对照降低了50.0%和39.6%。高浓度($5000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)的铝处理还能显著降低荞麦根系的生物量($p < 0.05$),但铝处理对2个荞麦品种地上部分生物量的影响不显著($p > 0.05$)。

2.4 铝浸种对荞麦幼苗叶片中MDA含量的影响

表1 铝对荞麦种子膜透性和营养物质渗漏的影响

Table 1 Effect of aluminum on the membrane permeability and the leakage of nutrition substance in buckwheat seeds

荞麦品种 Varieties of buckwheat	铝浓度 Concentration of aluminum ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	膜透性 Membrane permeability of buckwheat seeds (%)	浸种液中 蛋白质含量 Protein content in soaking solution ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	浸种液中可 溶性糖含量 SS content in soaking solution ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)
小白花 Xiaobaihua	0	$3.5 \pm 1.4\text{a}$	0.38	1.41
	10	$3.2 \pm 0.4\text{a}$	0.41	1.17
	100	$2.3 \pm 0.5\text{a}$	0.36	0.84
	1000	$2.8 \pm 1.9\text{a}$	0.27	1.00
	5000	$7.4 \pm 1.2\text{b}$	0.50	1.57
溪养5号 Xiyang No.5	0	$4.0 \pm 0.5\text{a}$	0.28	1.60
	10	$1.8 \pm 0.2\text{b}$	0.21	0.95
	100	$2.2 \pm 0.5\text{b}$	0.10	0.62
	1000	$5.5 \pm 0.6\text{c}$	0.12	0.69
	5000	$7.2 \pm 1.3\text{d}$	0.13	1.38

同一品种不同处理间小写字母不同表明两者差异达到显著水平($p < 0.05$),下同 The differences between the treatments (of same variety) without the same small letters were significant ($p < 0.05$), the same below

丙二醛(MDA)是细胞膜脂过氧化的主要产物之一,是反映膜脂过氧化程度以及膜结构稳定性最为直接的指标。图 1 结果显示,10mg·L⁻¹和 100mg·L⁻¹的铝浸种能够降低荞麦幼苗叶内 MDA 的含量,其中小白花降幅在 1.3%~2.1%,溪养 5 号的降幅 6.7%~9.6%,但和对照组没有达到显著性差异($p > 0.05$)。5000mg·L⁻¹的铝能够增加荞麦叶内 MDA 的含量,和对照相比溪养 5 号增幅 9.6%,小白花的增幅 19.1%。

表 2 铝对荞麦种子发芽的影响

Table 2 Effect of aluminum on the germination of buckwheat seeds

荞麦品种 Varieties of buckwheat	铝浓度 Concentration of aluminum (mg·L ⁻¹)	发芽率 Germination percentage (%)	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	50% 萌发天数 50% germination days(d)
小白花 Xiaobaihua	0	89.6 ± 1.67a	49.1 ± 8.84a	0.782756	2
	10	87.4 ± 3.51a	53.3 ± 6.78a	0.858239	2
	100	88.0 ± 1.87a	55.8 ± 5.67a	0.939922	2
	1000	86.4 ± 5.13a	54.3 ± 5.51a	0.837258	2
	5000	85.6 ± 4.83a	47.6 ± 4.28a	0.601408	2
溪养 5 号 Xiqiao No.5	0	97.8 ± 1.79a	82.5 ± 12.30a	1.094685	1
	10	98.6 ± 0.89a	84.5 ± 6.68a	1.116243	1
	100	98.2 ± 1.48a	85.0 ± 7.63a	1.383209	1
	1000	99.0 ± 1.00a	80.2 ± 10.08a	1.639408	1
	5000	97.6 ± 1.82a	44.3 ± 5.40b	0.42092	2

表 3 铝对荞麦生长势的影响

Table 3 Effect of aluminum on the growth potential of buckwheat seedlings

荞麦品种 Varieties of buckwheat	铝浓度 Concentration of Aluminum (mg·L ⁻¹)	最长根长 Length of the longest root (cm)	根平均鲜重 Average fresh weight of each root (mg)	根平均干重 Average dry weight of each root (mg)	茎平均鲜重 Average fresh weight of each stem (mg)	茎平均干重 Average dry weight of each stem (mg)
小白花 Xiaobaihua	0	9.77 ± 1.22a	15.94 ± 0.38a	1.49 ± 0.19a	62.45 ± 4.11a	13.44 ± 1.12a
	10	9.09 ± 0.99ab	16.11 ± 1.08a	1.48 ± 0.09a	63.91 ± 6.32a	14.07 ± 1.50a
	100	8.81 ± 1.21b	16.86 ± 1.06a	1.43 ± 0.14a	67.23 ± 8.27a	14.48 ± 0.93a
	1000	8.93 ± 0.55b	15.43 ± 0.67a	1.42 ± 0.19a	70.99 ± 5.53a	13.06 ± 0.92a
	5000	4.88 ± 0.80c	12.65 ± 0.83b	1.06 ± 0.08b	63.18 ± 4.64a	14.08 ± 1.00a
溪养 5 号 Xiqiao No.5	0	9.40 ± 1.29a	13.27 ± 0.51a	1.32 ± 0.09a	81.85 ± 4.19a	10.29 ± 1.84ab
	10	9.43 ± 1.14a	13.21 ± 1.10a	1.32 ± 0.08a	82.30 ± 3.59a	9.49 ± 0.93a
	100	8.26 ± 1.55b	16.27 ± 1.37a	1.36 ± 0.17a	84.56 ± 10.36a	11.46 ± 1.44ab
	1000	8.44 ± 1.58b	20.45 ± 2.88b	1.68 ± 0.26b	79.23 ± 9.40a	11.90 ± 1.23b
	5000	5.68 ± 0.75c	9.49 ± 2.24c	0.91 ± 0.15c	73.31 ± 6.60a	10.83 ± 0.31ab

2.5 铝浸种对荞麦幼苗叶内抗氧化系统的影响

逆境胁迫下,植物细胞内有伤害作用的活性氧的含量往往增加,而细胞内保护酶系统(如 POD 和 CAT)和非酶保护系统(如 Pro 和 SS)对于及时清除活性氧,保护细胞膜的结构稳定性有着重要的意义。由表 4 可以看出,铝浸种处理能够增加小白花叶内 CAT 的活性,增幅在 28.6%~55.3%,和对照有显著性差异($p < 0.05$),只有在 5000mg·L⁻¹铝处理下,小白花叶内 POD 活性才显著升高,增幅 53.4%,和对照有显著性差异($p < 0.05$)。铝对溪养 5 号叶内 CAT 和 POD 活性变化影响都不明显

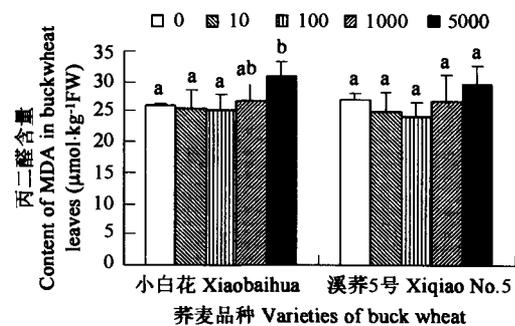


图 1 铝对荞麦叶内丙二醛含量的影响

Fig. 1 Effect of aluminum on the content of MDA in buckwheat leaves

($p > 0.05$)。随着铝浓度增加,2 种荞麦叶内 Pro 和 SS 的含量都有先降低后增加的趋势,并且在 $5000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 铝处理时的含量和对照都有显著性差异($p < 0.05$)。

表 4 铝对荞麦幼苗叶内抗氧化系统的影响

Table 4 Effect of aluminum on the antioxidant defense system in buckwheat leaves

荞麦品种 Varieties of buckwheat	铝浓度 Concentration of Aluminum ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	过氧化物酶活性 Activity of POD ($\Delta 470 \text{ min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ Pr}$)	过氧化氢酶活性 Activity of CAT ($\text{mgH}_2\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ Pr}$)	游离脯氨酸含量 Content of Pro ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$)	可溶性糖含量 Content of SS ($\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$)
小白花 Xiaobaihua	0	$94.9 \pm 4.5\text{a}$	$1.08 \pm 0.04\text{a}$	$9.39 \pm 2.51\text{a}$	$0.31 \pm 0.01\text{a}$
	10	$86.7 \pm 9.8\text{a}$	$1.52 \pm 0.09\text{b}$	$7.52 \pm 1.69\text{a}$	$0.29 \pm 0.04\text{ab}$
	100	$89.1 \pm 14.3\text{a}$	$1.39 \pm 0.26\text{ab}$	$8.02 \pm 2.15\text{a}$	$0.26 \pm 0.04\text{b}$
	1000	$100.9 \pm 15.9\text{a}$	$1.63 \pm 0.22\text{b}$	$13.31 \pm 0.43\text{b}$	$0.25 \pm 0.03\text{b}$
	5000	$204.1 \pm 8.9\text{b}$	$1.68 \pm 0.03\text{b}$	$13.47 \pm 1.39\text{b}$	$0.37 \pm 0.06\text{c}$
溪荞 5 号 Xiqiao No.5	0	$91.9 \pm 4.1\text{a}$	$1.65 \pm 0.35\text{a}$	$8.23 \pm 2.28\text{a}$	$0.30 \pm 0.01\text{a}$
	10	$86.9 \pm 8.9\text{a}$	$1.72 \pm 0.41\text{a}$	$4.95 \pm 0.92\text{b}$	$0.25 \pm 0.07\text{ab}$
	100	$85.1 \pm 0.4\text{a}$	$1.66 \pm 0.45\text{a}$	$10.28 \pm 0.33\text{a}$	$0.24 \pm 0.03\text{b}$
	1000	$92.6 \pm 25.5\text{a}$	$1.70 \pm 0.27\text{a}$	$9.73 \pm 1.29\text{a}$	$0.25 \pm 0.04\text{ab}$
	5000	$104.0 \pm 22.4\text{a}$	$1.38 \pm 0.18\text{a}$	$13.84 \pm 4.28\text{b}$	$0.34 \pm 0.06\text{c}$

3 讨论

铝是酸性土壤中植物生长重要的限制因子,土壤水溶液中活性铝达到 10% ~ 20% 以上时,大多数植物就会出现中毒现象^[11]。而本次实验中,一定浓度铝溶液浸种处理可以增加荞麦种子的发芽指数和活力指数,缩短了萌发时间,提高出苗的整齐性。以往研究发现适度的铝刺激也会促进大豆、绿豆等作物种子的萌发^[17,18]。和对照组相比,10 ~ $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 铝处理下小白花种子细胞膜透性降低 6.2% ~ 33.3%,溪荞 5 号种子 44.6% ~ 54.8%。并且在 10 ~ $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 铝处理时,2 个荞麦品种的浸种液中蛋白质和可溶性糖含量都有不同程度的降低。此外适度的铝刺激还能促进种子内部有关酶活性的升高,增加贮存物质的分解和转运效率^[19]。由此表明,铝对植物虽然是一种毒性元素,但适度的铝刺激能够降低作物种子萌发时的膜透性,减少营养物质的泄漏,刺激分解酶活性的升高,从而促进了种子的萌发。

在逆境条件下,植物体内有毒害作用的活性氧自由基产生的速度超过其清除能力,会导致生物膜脂过氧化程度增大、蛋白质变性以及光合成受阻等多种有害的细胞学效应,影响了植物体正常生长受到影响^[20]。本次试验 10 ~ $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的铝处理对 2 个荞麦品种叶内 MDA 含量影响不明显,而 $5000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 铝处理时小白花叶内 MDA 含量增幅 19.1%,和对照有显著性差异($p < 0.05$),溪荞 5 号叶内 MDA 含量增幅也达 9.6%,而 MDA 是活性氧攻击膜脂而形成的降解产物^[21],此时铝处理已经对荞麦细胞膜结构的稳定性以及细胞内正常的生理反应造成不利影响,因此铝胁迫下荞麦受到的伤害也和细胞内氧自由基含量增多有关。植物体在长期进化过程中也相应形成了酶促和非酶促两大类保护系统来及时清除细胞内的活性氧,减轻其对细胞造成的伤害,从而表现出对氧化胁迫的抗性^[22],这其中包括细胞内 POD 和 CAT 的活性的变化以及 SS 和 Pro 的含量的增减。POD 存在于植物细胞的细胞液中,可以分解细胞内的 H_2O_2 ,降低其对膜脂的损伤。 $5000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 铝处理时,溪荞 5 号叶内 POD 活性增加 11.6%,小白花叶内 POD 活性增加 53.4%,和对照有显著性差异($p < 0.05$),而且 2 个品种的 POD 活性和 MDA 含量都有了极显著相关(表 5)。这说明在铝胁迫下,荞麦体内 POD 活性的升高对于提高荞麦的耐铝性有重要作用。Pro 可以专一性性的分解细胞内 $\cdot\text{OH}$ 和 $^1\text{O}_2$ ^[23],并且可以增加细胞的保水性,降低细胞渗透势,稳定蛋白质的特性^[24]。本次试验中,在 $5000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 铝处理时,小白花和溪荞 5 号增幅分别为 42% 和 68.1%,均和对照之间有显著性差异($p < 0.05$)。可溶性糖作为细胞渗透势调节的重要物质,随着铝胁迫的增大,荞麦叶内积累的量也不断增多,由此可见,铝胁迫下,荞麦幼苗可以通过提高细胞内 POD 活性、增加 Pro 和 SS 含量来提高荞麦的铝适应性。同时 Pro 含量的升高也可以促进细胞内保护酶活性的升高^[22],因此荞麦细胞内部的保护体系在抵御铝胁迫时还有一种协同作用。CAT 也是植物在逆境胁迫下

种重要的保护酶,它主要存在于线粒体、过氧化物体与乙醛酸循环体,可以专一性的清除 H_2O_2 ,但是本次试验中,2个荞麦品种叶内 CAT 活性对铝的敏感性不同,这可能是因为铝在不同基因型荞麦叶细胞内部的微区分布不同。

研究证实,和小麦、油菜等其他作物相比, $50\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 铝处理的荞麦根系受到的抑制作用最小^[5],耐铝性较强。本次试验中, $5000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 铝处理的两种荞麦的发芽指数和活力指数虽然明显低于对照值,但其最终的萌发率和对照组都没有显著性差异,而同等浓度的铝处理下的大豆种子的萌发率仅为对照组的 40% 左右^[17]。种子萌发后, $10\sim 1000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 铝处理的荞麦根系伸长虽然受到一定的抑制,但是对根和茎的生物量影响不明显 ($p < 0.05$),而且此时叶内 MDA 含量和对照也没有显著性差异 ($p < 0.05$),这也进一步证实了荞麦是一种耐铝作物。同时本次试验结果还显示,2个受试的荞麦品种对铝的反应有一定的差异性。 $5000\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 铝处理的小白花种子的发芽指数和活力指数的降幅都小于溪养 5 号,而种子萌发后小白花根伸长受抑制率和叶内 MDA 含量的增幅都大于溪养 5 号,而且小白花叶内 CAT 活性对铝的敏感性也高于溪养 5 号。Peng 也研究证实不同荞麦的品种在铝胁迫下草酸分泌量不同^[8]。这说明虽然荞麦是一种耐铝作物,但不同基因型对铝的反应有一定的差异性。

References:

- [1] Delhaize E, Ryan P R. Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiology*, 1995, 107: 315 ~ 321.
- [2] Kochian L V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1995, 46: 237 ~ 260.
- [3] Kong F X, Sang W L, Jiang X, *et al.* Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 855 ~ 862.
- [4] Weng J H, Huang L F, Liu X-R, *et al.* Acidification of soils and aluminum species in natural soil solution. *China Environmental Science*, 2000, 20(6): 501 ~ 505.
- [5] Zheng S J. Continuous secretion of organic acids is related to aluminum resistance during relatively long-term exposure to aluminum stress. *Physiologia Plantarum*, 1998, 103: 209 ~ 214.
- [6] Ma J F, Hiradate S, Matsumoto H. High Aluminum Resistance in buckwheat II. Oxalic acid detoxifies aluminum internally. *Plant Physiology*, 1998, 117: 753 ~ 759.
- [7] Zheng S J, Ma J F, Matsumoto H. High aluminum resistance in buckwheat I. Aluminum-induced specific secretion of oxalic acid from root tips. *Plant Physiology*, 1998, 117: 745 ~ 751.
- [8] Peng X X, Yu L, Yang C, *et al.* Genotypic difference in aluminum resistance and oxalate exudation of buckwheat. *Journal of Plant Nutrition*, 2003, 26: 1767 ~ 1777.
- [9] Shen R F, Ma J F. Distribution and mobility of aluminum in an Al-accumulating plant, *Fagopyrum esculentum* Moench. *Journal of Experimental Botany*, 2001, 52: 1683 ~ 1687.
- [10] Shen R F, Iwashita T, Ma J F. Form of Al changes with Al concentration in leaves of buckwheat. *Experimental Botany*, 2004, 55: 131 ~ 136.
- [11] Zou B J. Plant nutrition of aluminum in soils and its ecological effect. *Progress in Soil Science*, 1980, 8(3): 12 ~ 16
- [12] Zhang X Z. *Methods of Studing Crop Physiology*. Beijing: Agriculture Press, 1992.
- [13] Li J W, Xiao N Q, Yu R Y, *et al.* *Principles and Methodologies of Biochemistry*. Beijing: Beijing University Press, 1994.
- [14] Shanghai Institute of Plant Physiology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai Society for Plant Physiology. *Guide to Experiment of Modern Plant Physiology*. Beijing: Science and Technology Press, 1999.
- [15] Zhang X Z, Tan G R, Huang Y J, *et al.* *The Experimental Technology of Plant Physiology*. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1989.
- [16] Ceng S X, Wang Y R, Liu H X. Some enzymatic reactions related to chlorophyll degradation in cucumber cotyledons under chilling in the light. *Acta Phytophysiol Sinica*, 1991, 17(2): 177 ~ 182.
- [17] Liu P, Xu G D, Jiang X M, *et al.* The effect of aluminum on germination of soybean seed. *Seed*, 2003, 1: 30 ~ 32.
- [18] Neogy M, Datta J, Roy A K, *et al.* Studies on phytotoxic effect of aluminium on growth and some morphological parameters of *Vigna radiata* L. Wilczek.

表 5 丙二醛与其他生理指标之间的相关性分析

Table 5 The correlation analysis between MDA and other physiological indices of buckwheat leaves

	MDA-POD	MDA-CAT	MDA-Pro	MDA-SS
小白花 Xiaobaihu	0.993 **	0.568	0.736	0.773
溪养 5 号 Xiyang No.5	0.989 **	0.828	0.669	0.908 *

** Very significance ($p < 0.01$), * significance ($p < 0.05$)

Journal of Environmental Biology, 2002, 23: 411 ~ 416.

- [19] Dong A H, Jia X Y. Effect of acidity and aluminum on the germination of two barley cultivar seeds soaked in different $AlCl_3$ concentrations. Journal of Hangzhou Teachers College, 2002, 1(1): 59 ~ 62.
- [20] Zeng Q P, Guo Y. Adversity response and systematic resistance induction in plants. Chemistry of Life, 1997, 17(3): 31 ~ 33.
- [21] Chen S Y. Membrane-lipid peroxidation and plant stress. Chinese Bulletin of Botany, 1989, 6(4): 211 ~ 217.
- [22] Zhao L Y, Deng X P, Shan L. The response mechanism of active oxygen species removing system to drought stress. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(2): 413 ~ 418.
- [23] Jiang M Y, Guo S C, Zhang X M. Proline accumulation in rice seedlings exposed to oxidative stress in relation to antioxidation. Acta Phytophysiologica Sinica, 1997, 23(4): 347 ~ 352.
- [24] Xing S C, Cai Y H. Relationship between environmental stresses and proline in plant. Eco-Agriculture Research, 1998, 6(2): 30 ~ 33.

参考文献:

- [3] 孔繁翔, 桑伟莲, 蒋新, 等. 铝对植物毒害及植物抗铝作用机理. 生态学报, 2000, 20(5): 855 ~ 862.
- [4] 翁建华, 黄连芬, 刘晓茹. 土壤酸化及天然土壤中铝的形态. 中国环境科学, 2000, 20(6): 501 ~ 505.
- [11] 邹邦基. 土壤铝的植物营养与生态效应. 土壤学进展, 1980, 8(3): 12 ~ 16.
- [12] 张宪政. 作物生理研究法. 北京: 农业出版社, 1992.
- [13] 李建武, 萧能庆, 余瑞元, 等. 生物化学实验原理和方法. 北京: 北京大学出版社, 1994.
- [14] 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南. 北京: 科学技术出版社, 1999.
- [15] 张宪政, 谭桂茹, 黄元极, 等. 植物生理学实验技术. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1989.
- [16] 曾韶西, 王以柔, 刘鸿先. 低温光照下与黄瓜子叶片叶绿素降低有关的酶促反应. 植物生理学报, 1991, 17: 177 ~ 182.
- [17] 刘鹏, 徐根娣, 姜雪梅, 等. 铝对大豆种子萌发的影响. 种子, 2003, 1: 30 ~ 32.
- [19] 董爱华, 贾秀英. 酸铝浸种对大麦萌发的影响. 杭州师范学院学报(自然科学版), 2002, 1(1): 59 ~ 62.
- [20] 曾庆平, 郭勇. 植物的逆境应答与系统抗性诱导. 生命的化学, 1997, 17(3): 31 ~ 33.
- [21] 陈少裕. 膜脂过氧化与植物逆境胁迫. 植物学通报, 1989, 6(4): 211 ~ 217.
- [22] 赵丽英, 邓西平, 山仑. 活性氧清除系统对干旱胁迫的响应机制. 西北植物学报, 2005, 25(2): 413 ~ 418.
- [23] 蒋明义, 郭少川, 张学明. 氧化胁迫下稻苗体内积累的脯氨酸的抗氧化作用. 植物生理学报, 1997, 23(4): 347 ~ 352.
- [24] 邢少辰, 蔡玉红. 环境胁迫与植物体内脯氨酸的关系. 生态农业研究, 1998, 6(2): 30 ~ 33.