

磷对海水胁迫下芦荟幼苗离子分布的影响

邵 晶, 郑青松, 刘兆普, 宁建凤

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要: 研究了磷对海水胁迫下库拉索芦荟 (*Aloe vera*) 幼苗干物质积累、植株含水量、在器官和组织水平上离子分布的影响。增磷显著缓解海水胁迫对芦荟生长的抑制, 明显提高海水胁迫下芦荟幼苗的干物质积累和含水量。器官离子含量和 X 射线微区分析结果都表明, 30% 浓度海水胁迫下, 外源磷水平的提高能显著降低芦荟幼苗根系 Na^+ 、 Cl^- 的吸收, 增强 K^+ 、 Ca^{2+} 向地上部的运输和分配, 从而维持叶片较高的 K^+/Na^+ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 比率, 而这很可能是增磷提高芦荟对海水胁迫抗性的主要原因之一。

关键词: 芦荟; 磷; 海水胁迫; 缓解; 离子稳态; 吸收; 分配

文章编号: 1000-0933(2005)12-3167-05 **中图分类号:** Q 945. 78 **文献标识码:** A

Effects of phosphorus application on ion distribution in aloe seedlings under seawater stress

SHAO Jing, ZHENG Qing-Song, LIU Zhao-Pu, NING Jian-Feng (College of Natural Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3167~ 3171

Abstract How to enhance plant salt tolerance has always been focus issue up to present. It has been reported that phosphorus application can increase plant tolerance to osmotic stress by elevating anti-dehydration of protoplast. Intracellular ion homeostasis is a fundamental process for keeping physiological activity of living cells and ion flux regulation is necessary for plant cells to exclude toxic ions and to accumulate essential ions to a proper level. The effects of exogenous phosphorus on ionic homeostasis of plant under salt stress might be important in exploring physiology and salt tolerance mechanism of plant under salt stress by studying.

Xerophyte *Aloe vera*, a member of the Liliaceae plant family, is widely cultivated because of the high medical values. However few studies can be documented on effects of environmental factors on the growth of Xerophyte *Aloe vera* as well as its inner adaptive mechanisms related. Therefore, pot experiments were carried out to study the effects of exogenous P on dry matter accumulation, water content, Na^+ , Cl^- , K^+ and Ca^{2+} contents of aloe seedlings and their relative contents in various tissue cells under seawater stress by chemical analysis and X-ray electron probe microanalysis. Two P levels and two seawater concentrations used in this experiment were $0.5 \text{ mmol P L}^{-1}$ and $1.5 \text{ mmol P L}^{-1}$, and 0 and 30%, respectively.

The results obtained were listed as follows. Exogenous P application increased dry weight and water content of aloe seedlings under seawater stress significantly. No significant differences of dry weights and water contents of aloe seedlings were found between high P and low P treatments on the condition of no seawater stress. Exogenous P application could decrease the relative contents of Na^+ and Cl^- in various tissue cells of aloe seedling roots but could dramatically increased the relative contents of K^+ and Ca^{2+} in epidermis cells, phloem cells and xylem cells in aloe seedling roots exposing to seawater stress. The same trend could be summarized on Na^+ , Cl^- , K^+ and Ca^{2+} concentrations in aloe seedling leaves and roots from the chemical analysis. Supplement of P to the plant under seawater stress hardly decrease the relative contents of Na^+ and Cl^- of aloe.

基金项目: 国家 863 资助项目 (2004AA 2Z4061, 2003AA 627040)

收稿日期: 2004-09-26; **修订日期:** 2005-06-20

作者简介: 邵晶 (1979~), 女, 山东济宁人, 硕士生, 主要从事植物耐盐生理研究

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: sea@njau.edu.cn

致谢: 本文得到南京师范大学王克宇先生、莫祥银先生的帮助, 特此致谢!

Foundation item: The National 863 Program of China (No. 2004AA 2Z4061 and No. 2003AA 627040)

Received date: 2004-09-26; **Accepted date:** 2006-06-20

Biography: SHAO Jing, Master candidate, mainly engaged in salt-tolerant physiology of plant

seedling leaves. However, exogenous P application could increase to a great extent the relative content of K^+ in various tissue cells of aloe seedling leaves and relative content of Ca^{2+} in epidermis cells, cortex cells and aqueous cells of aloe seedling leaves. At the same time, high K^+/Na^+ and Ca^{2+}/Na^+ in leaves of aloe seedlings could be maintained under seawater stress by supplement of P, which indicated that application of P could improve selective absorption and transportation of K^+ and Ca^{2+} from root to shoot of aloe seedlings under the seawater stress condition. And this might be attributed to the enhanced tolerance of aloe seedlings to seawater by P application.

Key words: aloe; P; seawater stress; alleviation; ionic homeostasis; absorption; distribution

芦荟(Aloe)是一种其碳同化途径为CAM型的多年生旱生经济植物,具有一定的耐盐性^[1]。在国外芦荟研究的成果被广泛应用在医药、保健、食品等行业,已形成一大产业,国内也已开始重视这方面的研究,产业化也已经起步。但综合国内外研究现状,对芦荟的研究主要集中在芦荟化学成分中提取、分离、鉴定和临床药理等方面^[2],而针对芦荟对环境胁迫的响应以及抗非生物胁迫生理生化机制的研究,还处于刚起步阶段^[1,3-5]。

盐胁迫对植物的伤害主要是改变了植物细胞中水和离子的热力学平衡,导致高渗透胁迫和离子毒害^[6,7]。最近的研究报告表明,和其他植物一样,盐分胁迫造成芦荟体内盐分积累,营养元素 K^+ 、 Ca^{2+} 等缺失,破坏了离子平衡,从而明显抑制植株生长^[4,5]。磷能增强原生质抗渗透胁迫能力,从而提高一些作物抗旱耐盐能力^[8]。而盐胁迫往往对植物的伤害不仅渗透胁迫,还包括离子毒害和离子不平衡^[6]。施磷的缓解效应是否与磷对植物体内器官、组织水平上的离子吸收、分配的影响有关,即是否能改善盐渍生境中植物体内的离子平衡,缓解盐胁迫导致的对植物的盐离子毒害,国内外尚未见文献报告。因此,研究了磷对芦荟幼苗海水胁迫的缓解效应,用X-射线微区分析等手段研究了根、叶横切面不同类型细胞中的离子分布以及根、叶不同器官中的离子含量,以阐明盐胁迫下磷调节芦荟幼苗离子吸收分配的可能机理,为沿海滩涂和滨海地区发展海水农业,合理施用磷肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料及处理方法

取生长一致的库拉索芦荟幼苗移栽于下部具孔、内装细砂的塑料盆中,1/2 Hoagland 培养液培养至6叶期进行处理。2个海水浓度为0、30%,30%浓度海水用1/2 Hoagland 进行配置;磷以 KH_2PO_4 形式供应,两个磷水平为 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (不外加 KH_2PO_4)、 $1.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (外加 $1\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} KH_2PO_4$),采用 2×2 完全处理。在高磷和低磷水平处理中分别加入 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 K_2SO_4 ^[9],保证各处理 K^+ 的水平相同。4个处理分别为CLP(对照)、CHP(淡水高磷)、SLP(海水低磷)、SHP(海水高磷)。处理15 d,每处理重复5次。整个培养过程自然光照,昼夜温度 $(23\pm 2)^\circ\text{C}/(17\pm 2)^\circ\text{C}$,每天更换1次培养液,早晚各通气0.5 h。海水为山东莱州三山岛海水样,其主要离子含量见表1。

表1 供试海水样主要离子含量($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)

Table 1 Basic ion contents in seawater sample

离子种类 Ion species	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
离子含量 Ion content	2.16	40.28	493.38	19.63	42.79	15.28	412.17

1.2 干重、干重含水量的测定

植株鲜样蒸馏水洗净吸干后,称得鲜重,110℃杀青20 min,70℃烘至恒重称量得干重。干重含水量参照文献^[10]按下列公式计算:

$$\text{干重含水量}(\%) = \{(\text{鲜重} - \text{干重}) / \text{干重}\} \times 100$$

1.3 无机离子含量的测定

取第3、4叶烘干、磨碎、过筛(50目)、称重。参照Hunt^[11]方法,用原子吸收仪测定 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量,滴定法测定 Cl^- 含量^[12,13]。按下列公式计算离子吸收和运输的 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 的选择性比率(selectivity ratio)^[14,15],即 $S_{K,Na}$:根 $S_{K,Na}$ =(介质 Na^+/K^+)/(根系 Na^+/K^+),叶 $S_{K,Na}$ =(根系 Na^+/K^+)/(叶片 Na^+/K^+),根 $S_{Ca,Na}$ =(介质 Na^+/Ca^{2+})/(根系 Na^+/Ca^{2+}),叶 $S_{Ca,Na}$ =(根系 Na^+/Ca^{2+})/(叶片 Na^+/Ca^{2+})

1.4 扫描电镜制样和观测方法

参照施卫明^[16]方法,切下芦荟第4位叶(由下向上)的中间部分的横切面和距根尖4 cm的横切面,迅速投入液氮冷冻过夜,在真空干燥机中冷冻干燥12 h。喷镀金膜后在JEOL JSM-5610LV扫描电镜下观察,能谱仪为美国NORAV公司的VANTAGE V 4105-DSI型。X-射线能谱分析记录叶片表皮、皮层、韧皮部、木质部和储水组织与根部表皮、皮层、韧皮部、木质部

的离子峰值, 用附带标样程序计算机判断峰值代表的元素种类, 并计算 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、和 Cl^- 含量分别占细胞中元素总量的百分率。

2 结果与分析

2.1 增磷对海水胁迫下芦荟幼苗植株干物质积累和含水量的影响

对 6 叶期的芦荟幼苗进行不同处理 15 d 后, 不同处理的芦荟幼苗均已进入 7 叶期。非海水胁迫下低磷和高磷处理 (CLP 和 CHP) 植株干重和含水量差异均不显著。而 30% 浓度的海水胁迫下的幼苗干物质积累 (SLP) 显著低于对照 (CLP), 含水量也显著下降, 海水胁迫下补充磷 (SHP) 显著提高海水胁迫下芦荟幼苗的干物质积累和含水量 (图 1)。这表明外源磷明显缓解海水盐胁迫对芦荟幼苗生长的抑制。

2.2 增磷对海水胁迫下芦荟幼苗叶片和根系各微域离子分布的影响

对芦荟幼苗根、叶横切面上 X-射线能谱微区分析的扫描电镜观察并将不同组织中元素峰值 (原始图略) 换算成不同元素相对百分含量 (表 1) 的结果表明: 海水胁迫下, 高磷处理 (SHP) 的芦荟根中各组织细胞中 Na^+ 、 Cl^- 相对含量均比低磷处理 (SLP) 的明显降低; 同时其表皮、韧皮部和木质部细胞中的 K^+ 、 Ca^{2+} 相对含量分别是低磷处理 (SLP) 的 2.5、4.3、1.7 倍和 1.3、3.1、2.6 倍。除皮层细胞外, 海水胁迫下增磷 (SHP) 并不降低芦荟叶片各组织细胞 Na^+ 、 Cl^- 相对含量, 但明显提高叶片的不同细胞 K^+ 和表皮、皮层和贮水组织细胞 Ca^{2+} 的相对含量。

2.3 增磷对海水胁迫下芦荟幼苗叶片、根系 Na^+ 、 Cl^- 、 K^+ 、 Ca^{2+} 含量、 K^+/Na^+ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 和 SK/Na 的影响

30% 海水胁迫下, 植株根、叶 Na^+ 、 Cl^- 含量显著增加, 根系尤为显著。根系 K^+ 含量显著下降, 而叶片维持 K^+ 的能力较高, 与对照差异不显著。30% 海水胁迫下高磷处理明显降低根系 Na^+ 、 Cl^- 含量, 促使 K^+ 、 Ca^{2+} 向地上部运输, 但叶片 Na^+ 、 Cl^- 含量与低磷处理无差异。这些结果与根、叶不同细胞离子相对含量变化趋势一致。海水胁迫下增磷可明显提高叶片运输 SK/Na (表 3), 表明磷可增强海水盐胁迫下芦荟幼苗根中 K^+ 向地上部的选择性运输分配, 同时增强 Ca^{2+} 向地上部运输

表 2 海水胁迫下磷对芦荟根细胞和叶片不同组织细胞 Na^+ 、 Cl^- 、 K^+ 和 Ca^{2+} 含量占元素总量百分率 (%) 的影响

Table 2 Effects of P on the percentages (%) of Na^+ , Cl^- , K^+ , and Ca^{2+} contents in total elements of different tissue cells of roots and leaves of aloe seedling under seawater stress

项目 Item			处理 Treatment			
			CLP	CHP	SLP	SHP
根系 表皮细胞 Root Epidermis cell	Na ⁺	0.13	0.05	2.48	0.02	
	Cl ⁻	0.078	0.00	3.98	0.42	
	K ⁺	1.71	5.26	2.41	6.00	
	Ca ²⁺	0.63	0.99	0.79	1.05	
皮层细胞 Cortex cell	Na ⁺	0.52	0.03	0.70	0.31	
	Cl ⁻	0.043	0.48	20.27	0.48	
	K ⁺	7.57	13.01	18.54	13.47	
	Ca ²⁺	1.55	1.24	1.93	0.93	
韧皮部细胞 Phloem cell	Na ⁺	0.39	0.40	3.75	0.33	
	Cl ⁻	0.15	0.07	8.26	0.16	
	K ⁺	7.09	7.99	3.73	15.98	
	Ca ²⁺	0.63	0.40	0.22	0.68	
木质部细胞 Xylem cell	Na ⁺	0.19	0.23	4.32	0.40	
	Cl ⁻	0.26	0.23	16.26	0.05	
	K ⁺	8.28	10.53	8.34	14.04	
	Ca ²⁺	1.23	0.34	0.25	0.65	
叶片 表皮细胞 Leaf Epidermis cell	Na ⁺	0.00	0.27	0.15	0.37	
	Cl ⁻	0.58	0.69	1.74	1.13	
	K ⁺	8.57	7.36	1.39	3.01	
	Ca ²⁺	6.81	7.17	3.49	8.26	
皮层细胞 Cortex cell	Na ⁺	0.00	0.06	0.26	0.18	
	Cl ⁻	0.57	1.96	1.36	1.65	
	K ⁺	8.70	22.43	2.10	3.27	
	Ca ²⁺	5.34	12.86	3.80	6.73	
韧皮部细胞 Phloem cell	Na ⁺	0.08	0.22	0.25	0.26	
	Cl ⁻	1.51	0.77	1.42	1.87	
	K ⁺	11.92	5.83	1.12	2.59	
	Ca ²⁺	8.67	1.89	1.23	1.06	
木质部细胞 Xylem cell	Na ⁺	0.22	0.07	0.33	0.50	
	Cl ⁻	0.42	0.36	1.76	1.93	
	K ⁺	4.08	3.22	1.68	3.49	
	Ca ²⁺	3.14	1.32	3.42	2.98	
贮水组织细胞 Aqueous tissue cell	Na ⁺	0.34	0.10	0.30	0.53	
	Cl ⁻	2.47	1.47	2.25	8.00	
	K ⁺	11.36	5.92	1.46	4.69	
	Ca ²⁺	2.20	2.47	1.68	2.16	

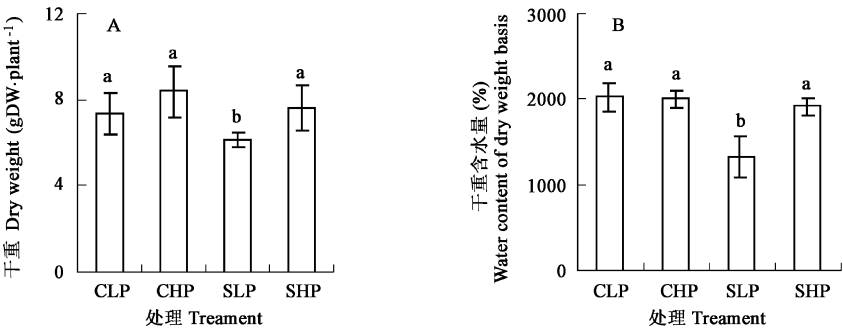


图 1 海水胁迫下磷对芦荟幼苗干重(A)和干重含水量(B)的影响

Fig 1 Effects of on dry weight(A) and water on dry weight(B) basis seedlings under seawater stress
不同字母间表示差异显著 Different small letters represent significance

分配,从而维持芦荟体内较高的 K^+/Na^+ 、 Ca^{2+}/Na^+ 比率。

表 3 海水胁迫下磷对芦荟幼苗根系 Na^+ 、 Cl^- 、 K^+ 、 Ca^{2+} 含量、 K^+/Na^+ 、 Ca^{2+}/Na^+ 、 SK_{Na} 和 SCa_{Na} 的影响

Table 3 Effects of P on Na^+ , Cl^- , K^+ and Ca^{2+} contents, K^+/Na^+ , Ca^{2+}/Na^+ , SK_{Na} and SCa_{Na} in roots of aloe seedling under seawater stress

处理 Treatment	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Cl^-	K^+/Na^+	Ca^{2+}/Na^+	根 SK_{Na} Root SK_{Na}	根 SCa_{Na} Root SCa_{Na}
mmol · g ⁻¹ DW								
CLP	0.44c	0.27a	0.18a	0.04c	0.57a	0.41b	0	0
CHP	0.38c	0.15b	0.17ab	0.05c	0.40b	0.45a	0	0
SLP	1.59a	0.14b	0.17b	0.72a	0.057c	0.11c	0.64a	1.23a
SHP	1.34b	0.09c	0.13c	0.55b	0.064c	0.098c	0.71a	1.14b

* 同列数字后的字母不同表示差异显著 ($p < 0.05$), 下表同 Different small letters within the same column represent significance at 5% according to Duncan's multiple range test, the same below

表 4 海水胁迫下磷对芦荟幼苗叶片 Na^+ 、 Cl^- 、 K^+ 、 Ca^{2+} 含量、 K^+/Na^+ 、 Ca^{2+}/Na^+ 、 SK_{Na} 和 SCa_{Na} 的影响

Table 4 Effects of P on Na^+ , Cl^- , K^+ and Ca^{2+} contents, K^+/Na^+ , Ca^{2+}/Na^+ , SK_{Na} and SCa_{Na} in leaves of aloe seedling under seawater stress

处理 Treatment	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Cl^-	K^+/Na^+	Ca^{2+}/Na^+	叶 SK_{Na} Leaf SK_{Na}	叶 SCa_{Na} Leaf SCa_{Na}
mmol · g ⁻¹ DW								
CLP	0.27b	0.33b	0.50b	0.38b	1.17b	1.59b	2.23d	4.19c
CHP	0.28b	0.43a	0.54ab	0.36b	1.38a	2.07a	3.10c	4.31c
SLP	0.57a	0.33b	0.41c	0.75a	0.79d	1.04d	13.74b	9.53b
SHP	0.56a	0.47a	0.60a	0.75a	0.98c	1.24c	14.73a	12.34a

3 结论与讨论

外源磷可以增强芦荟幼苗的耐海水能力,而有关磷增强植物耐盐机理的报道甚少。本研究表明,增施磷可明显缓解海水胁迫对芦荟幼苗生长的抑制,提高植物干物质积累和含水量(图 1)。

盐胁迫下,大麦、小麦、棉花对 K^+ 的吸收和向地上部运输有较高选择性,地下部向地上部输送的盐分较少,留存于根部比较多,从而维持植株体内的离子平衡,表现出较高的耐盐性^[17, 18]。本研究表明,芦荟和上述农作物的耐盐机理有相似之处,海水盐胁迫下 Na^+ 、 Cl^- 在根细胞中积累(表 2, 表 3),同时向地上部选择性运输 K^+ 、 Ca^{2+} (表 2, 表 4),从而维持叶片较高的 K^+/Na^+ 、 Ca^{2+}/Na^+ 比率(表 4)。

外源钙^[17]、脂肪酸^[19]、甜菜碱^[20]等均能显著降低植株根系和地上部的盐分积累,增强作物的拒盐能力。增磷可降低芦荟幼苗根系的 Na^+ 、 Cl^- 含量,但不能降低海水胁迫下芦荟地上部的 Na^+ 、 Cl^- 含量(表 2, 表 3)。海水胁迫下,增施磷使得芦荟根中柱细胞 K^+ 相对含量显著上升(表 2),表明磷可明显促进 K^+ 向地上部的选择性运输,提高叶片中 K^+ 、 Ca^{2+} 含量、 K^+/Na^+ 、 Ca^{2+}/Na^+ 、叶 SK_{Na} 和叶 SCa_{Na} (表 4),从而改善芦荟幼苗地上部的离子平衡,这很可能是增磷可增强芦荟耐盐性的主要原因之一。

导致以上结果的原因可能是磷调节盐胁迫下芦荟根系等细胞质膜 $H^+-ATPase$ 、液泡膜 $H^+-ATPase$ 、 $H^+-PPase$ 活性,并激活质膜和液泡膜上 Na^+/H^+ 逆向运输蛋白,从而加速了 K^+ 的吸收、 Na^+ 的排放及 Na^+ 在液泡中的积累,提高了 K^+ 的选择性吸收和运输,促使盐分区域化分配。从整体水平上阐明磷对芦荟耐盐性的调节尚待进一步深入研究。

References

[1] Zheng Q S, Liu Z P, Liu Y L, et al. Effects of salt and water stresses on growth and ionic absorption and distribution in *Salicornia europaea*, *Aloe vera* and *Helianthus annuus* seedlings. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2004, 27(2): 16~ 20

[2] Xiong Y Q, Yao L. *Aloe*. Beijing: Chinese Agriculture University Press, 1998, 1~ 13

[3] Sun S B, Shen Q R, Wan J M, et al. Induced expression of the gene for NADP enzyme in leaves of *Aloe vera* L. under salt stress. *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*, 2003, 35(5): 423~ 429

[4] Zheng Q S, Liu L, Liu Y L, et al. Effects of Salt and Water Stresses on Osmotic Adjustment and Osmotica Accumulation in *Aloe vera* seedlings. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2003, 29(6): 585~ 588

[5] Zheng Q S, Liu Z P, Liu Y L, et al. Effects of iso-osmotic salt and water stresses on growth and ionic distribution in aloe seedlings. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(6): 823~ 827.

[6] Niu X M, Breggan R A, Hasegawa P M, Pardo J M. Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*, 1995, 109: 725~ 742

- [7] Liu Y L, Wang L J. Responses to salt stress in plants and its salt tolerance. In: Yu S W, Tang Z C ed. *Plant Physiology and Molecular Biology*. Beijing: Science Press, 752~ 769
- [8] Lu J L. *Plant Nutrition*. Beijing: Chinese Agricultural University Press, 1994 32~ 33
- [9] Guo Y P, Chen P Z, Zhang L C, et al. Effects of different phosphorus nutrition levels on photosynthesis in Sarsum a Mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) leaves. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, **8**(2): 186~ 191.
- [10] Liu Y L. *Plant water stress physiology*. Beijing: Agricultural Press, 1992 5~ 6
- [11] Hunt J. Dilute hydrochloric acid extraction of plant material for routine cation analysis. *Communication in Soil Science Plant Annual*, 1982, **13**: 49~ 55
- [12] Shanxi Normal University. *Analytic Methods of Soil Agricultural Chemistry*. Xian: Shanxi Science and Technology Press, 1980
- [13] Yu B J, Luo Q Y, Liu Y L. Effects of salt stress on growth and ionic distribution of saltborn *Glycine soja*. *Acta Agron Sin*, **27**(6): 776 ~ 780
- [14] Flower T J, Yeo A R. Ion relation of salt tolerance. In: Baker D D, Hall J L eds. *Solute Transport in Cells and Tissue*. New York: John Wiley and Sons, Inc, 1988 392~ 416
- [15] Pitman M G. Transport across the root and shoot/root interaction. In: Staples R. C. and Toennissen G. A. eds. *Salinity Tolerance in Plants*. Wiley, 1984
- [16] Shi W M, Xun M X, Liu Z Y. The nutrient status of soil-root interface. IV. Study on sample preparation procedure for electron microprobe and its applications. *Acta Pedologica Sinica*, 1987, **24**(3): 286~ 290
- [17] Zheng Q S, Wang R L, Liu Y L. Effect of Ca^{2+} on absorption and distribution of ions in salt-treated cotton seedlings. *Acta Phytosociologica Sinica*, **27**(4): 325~ 330
- [18] Zhang W H, Liu Y L. Effect of Ca^{2+} on absorption and distribution of ions and H^{+} -ATPase activities in barley and wheat under salt stress. *Acta Botanica Sinica*, 1993, **35**(6): 435~ 440
- [19] Gong H M, Yu B J, Liu Y L. Effects of fatty acids on lipid composition and function of tonoplast vesicles in barely seedlings under salt stress. *Acta Botanica Sinica*, 1999, **41**(4): 414~ 419
- [20] Liu J, Liu H P, Liu Y L. Effect of exogenous glycine on polyamines and ions content of barely seedlings under salt stress. *Acta Agronomica Sinica*, 2004, **30**(11): 1119~ 1123

参考文献:

- [1] 郑青松, 刘兆普, 刘友良, 等. 盐和水胁迫对海蓬子、芦荟向日葵幼苗生长及其离子吸收分配的效应. *南京农业大学学报*, 2004, **27**(2): 16~ 20
- [2] 熊佑清, 姚利. 芦荟. 北京: 中国农业出版社, 1998 1~ 13
- [3] 孙淑斌, 沈其荣, 万建民, 等. 盐胁迫诱导库拉索芦荟叶片NADP-苹果酸酶基因表达. *生物化学和生物物理学报*, 2003, **35**(5), 423~ 429
- [4] 郑青松, 刘玲, 刘友良, 等. 盐分和水胁迫对芦荟幼苗渗透调节和渗透调节物质积累的影响. *植物生理与分子生物学学报*, 2003, **29**(6): 585~ 588
- [5] 郑青松, 刘兆普, 刘友良, 刘玲. 等. 盐分和水胁迫对芦荟幼苗生长和离子分布的效应. *植物生态学报*, 2004, **28**(6): 823~ 827
- [6] 刘友良, 汪良驹. 植物对盐胁迫的反应和耐盐性. 见: 余叔文, 汤章城主编, *植物生理和分子生物学*. 北京: 科学出版社, 1998 752~ 769
- [7] 陆景陵. *植物营养学*. 北京: 北京农业大学出版社, 1994 32~ 33
- [8] 郭延平, 陈屏昭, 张良诚, 等. 不同供磷水平对温州蜜柑叶片光合作用的影响. *植物营养与肥料学报*, 2002, **8**(2): 186~ 191
- [9] 刘友良. *植物水分逆境生理*. 北京: 农业出版社, 1992 5~ 6
- [12] 陕西师范大学. *农业化学常用分析方法*. 陕西科学技术出版社, 1980
- [13] 於丙军, 罗庆云, 刘友良. 盐胁迫对野生大豆生长和离子分布的影响. *作物学报*, 2001, **27**(6): 776~ 780
- [16] 施卫明, 徐梦熊, 刘芷宇. 土壤-植物根系微区养分状况的研究. IV, 电子探针制样方法的比较及其应用. *土壤学报*, 1987, **24**(3): 286~ 290
- [17] 郑青松, 王仁雷, 刘友良. 钙对盐胁迫下棉苗离子吸收分配的影响. *植物生理学报*, 2001, **27**(4): 325~ 330
- [18] 章文华, 刘友良. 盐胁迫下钙对大麦和小麦离子吸收分配及 H^{+} -ATP酶活性的影响. *植物学报*, 1993, **35**, **6**: 435~ 440
- [19] 龚红梅, 於丙军, 刘友良. 脂肪酸对盐胁迫大麦幼苗液泡膜微囊膜脂组分及功能的影响. *植物学报*, 1999, **41**(4): 414~ 419
- [20] 刘俊, 刘怀攀, 刘友良. 外源甜菜碱对盐胁迫下大麦幼苗体内多胺和离子含量的影响. *作物学报*, 2004, **30**(11): 1119~ 1123