

等渗的盐分和水分胁迫对芦荟幼苗生长和离子分布的效应

郑青松¹ 刘兆普² 刘友良^{1*} 刘玲²

(1 南京农业大学生命科学学院, 南京 210095) (2 南京农业大学资源与环境学院, 南京 210095)

摘要 研究了等渗透势(-0.44、-0.88 MPa) NaCl 和 PEG 6000 处理对六叶龄芦荟(*Aloe vera*) 幼苗叶片生长速率、干物质积累、电解质渗漏和离子吸收、分配的效应。结果表明: -0.44、-0.88 MPa NaCl 和 PEG 处理 10 d 均明显抑制芦荟幼苗叶片伸长生长, 植株干物质积累速率显著降低, 叶片含水量降低, 叶片细胞电解质渗漏率上升。NaCl 对芦荟幼苗生长的抑制作用显著大于 PEG 处理的。不同器官离子含量、根系和叶片横切面 X-射线微区分析结果表明, NaCl 胁迫导致芦荟体内 Na^+ 、 Cl^- 含量显著上升, 根中增幅明显高于叶片, 其中 Cl^- 尤为显著。NaCl 胁迫严重抑制芦荟对 K^+ 和 Ca^{2+} 的吸收及其向叶片的运输, 根、叶 K^+/Na^+ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 比率显著下降, 而 PEG 胁迫对离子平衡的干扰较轻, 是芦荟对水分胁迫的适应能力高于盐胁迫的主要原因之一。但芦荟对 -0.44 ~ -0.88 MPa NaCl 胁迫仍有一定的适应能力, 主要原因是: 1) 根系对离子的选择性吸收和运输较强, 并随着盐胁迫强度增加其选择性增强; 2) 芦荟叶片中的盐分在贮水组织中显著积累, 明显高于其它组织细胞。同时, 芦荟是 CAM(景天酸代谢) 途径植物, 蒸腾极小, 盐分随蒸腾流进入地上部的机会小。

关键词 盐分胁迫 水分胁迫 芦荟 离子的吸收和分配 贮水组织

EFFECTS OF ISO-OSMOTIC SALT AND WATER STRESSES ON GROWTH AND IONIC DISTRIBUTION IN *ALOE* SEEDLINGS

ZHENG Qing-Song¹ LIU Zhao-Pu² LIU You-Liang^{1*} and LIU Ling²

(1 College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 College of Natural Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract Among many kinds of stresses, drought and salinity are the most serious ones that limit plant growth and crop productivity in agriculture with their damage exceeding the sum of that attributed to all other natural disasters. Plant responses to drought and salinity have much in common: Water stress in its broadest sense encompasses both drought and salt stress; Salt stress occurs from both osmotic stress due to low water potentials and salt-specific effects. However, studies on the comparative physiology of plants to water and salt stress are few. *Aloe* is a typical xerophyte with important economic and social value, but is not a halophyte. Little information was available on its response to salt and its mechanisms of tolerance. In this paper, dry matter accumulation of seedlings, growth rates, water content, electrolytic leakage of leaves and ionic absorption and distribution of organ and tissue levels in six-leaf *Aloe vera* seedlings exposed to iso-osmotic conditions of -0.44 Mpa and -0.88 Mpa using NaCl, and compared to exposure to polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) concentrations to understand the responses of plants to water and salt stress.

The results showed that leaf elongation was inhibited, plant dry matter accumulation rates decreased significantly, water content in leaves decreased, and leaf electrolytic leakage increased 10 days after treatments using NaCl and PEG. Growth inhibition of salt-treated *Aloe* seedlings greatly exceeded that of PEG-treated seedlings. Ion content analysis in different organs and X-ray microanalysis of root and leaf cross sections indicated that Na^+ 、 Cl^- content increased significantly and K^+ 、 Ca^{2+} absorption in the roots and transport to leaves were inhibited in seedlings exposed to NaCl stress. Maintenance of better ion homeostasis under the PEG treatment was a primary reason for the greater adaptation to water stress than to iso-osmotic salt stress in *Aloe*. However, *Aloe* seedlings also showed some specific adaptations to -0.44 - -0.88 NaCl stress in *Aloe* seedlings: 1) Ionic selective absorption and transport were high in *Aloe* roots under salt stress and increased with increasing salt stress; 2) Salt accumulation in aqueous tissues was significantly higher than that in the

other tissues of *Aloe* leaves. Also, as a CAM (Crassulacean acid metabolism) plant, the transpiration rate in *Aloe* seedlings was very low and the rate of salt accumulation in the shoots was also slow.

Key words Salt stress, Water stress, *Aloe vera*, Ionic absorption and distribution, Aqueous tissue

干旱和盐渍在一定意义上均同属于渗透胁迫, 由于旱地土壤水分强烈蒸发, 地表积盐较重, 最容易引起土壤盐渍化。因此干旱和盐渍对植物的影响往往是协同、共存的, 对世界作物产量的影响, 在诸自然逆境中占据首位, 其危害超过其它自然灾害之和 (汤章城, 1998)。而有关植物抗性生理, 大多只是研究植物对单一逆境的反应, 植物对多种逆境发生反应进行研究的报道却不多 (任红旭等, 2001)。大量研究表明, 干旱、盐渍、低温、高温等不同逆境引起的一些植物适应性反应, 如抗氧化保护系统、渗透调节系统、激素的变化等都是相似的。盐渍除了有低渗透势作用外, 还存在着离子的毒害作用 (Flowers & Yeo, 1986; 刘友良等, 1998; Munns, 2002)。因此植物对干旱、盐渍的响应必然存在着相似之处, 同时也存在明显的差异。百合科多年生草本植物芦荟 (*Aloe*) 集药用、食用、美容、观赏价值于一身, 其经济和社会效益显著 (熊佑清等, 2000)。多年来人们对芦荟的研究主要集中在栽培育种、药用成分分析及临床应用方面 (郝立勤等, 1999; 熊佑清等, 2000; 李云政等, 2000), 有关芦荟抗逆性的生理机制目前国内外未见相关报道。因此我们利用 X-射线微区分析水分和盐分胁迫下芦荟幼苗离子吸收分配的差异, 以期探讨芦荟抗旱与耐盐的相互关系。

1 材料和方法

1.1 实验材料及处理

取生长一致的五叶龄库拉索芦荟 (*Aloe vera*) 幼苗移栽于下部具孔、内装细砂的塑料盆中, Hoagland 溶液培养至六叶期。分别用 Hoagland 溶液配制 -0.44 、 -0.88 MPa NaCl 和聚乙二醇 (PEG 6000) 溶液处理芦荟, 对照为 Hoagland 培养液, 每个处理重复 3 次。10 d 后取第四叶 (自下而上) 进行各项生理指标的测定。整个培养过程在昼/夜 (30 ± 2) °C / (23 ± 2) °C, 自然光照下进行。2d 换一次培养液, 每天早晚各通气 0.5 h。溶液渗透势用上海医大仪器厂生产的 FM-8P 型全自动冰点渗透压计测定。

1.2 叶片生长速率、干重含水量和干物质积累速率的测定

每个处理取 10 株, 用直尺测量第四叶叶片长度。将整株芦荟幼苗去离子水洗净, 吸干表面的水

分, 在 110 °C 杀青 10 min 后于 75 °C 烘干至恒重, 称重。

叶片伸长速率 ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) = (处理后叶长 - 处理前叶长) / 处理天数

叶片干重含水量 (%) = [(鲜重 - 干重) / 干重] × 100

干物质积累速率 ($\text{mg} \cdot \text{plant}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) = (处理后干重 - 处理前干重) / 处理天数

1.3 无机离子含量的测定

取一定量叶片烘干、磨碎、过 1 mm 筛、称重。参照 Hunt (1982) 法, 用 TAS-986 火焰原子吸收分光光度计测定 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 含量。滴定法测定 Cl^- 含量 (於丙军等, 2001)。均重复 3 次。按郑青松等 (2001) 方法计算离子吸收和运输的 K^+ 、 Na^+ 选择性比率 (Selectivity ratio, $S_{\text{K,Na}}$):

$$\text{根 } S_{\text{K,Na}} = \frac{\text{根} [\text{K}^+] / [\text{Na}^+] }{\text{介质中} [\text{K}^+] / [\text{Na}^+] }$$

$$\text{叶 } S_{\text{K,Na}} = \frac{\text{叶} [\text{K}^+] / [\text{Na}^+] }{\text{根} [\text{K}^+] / [\text{Na}^+] }$$

1.4 细胞中无机离子的分布

参照施卫明 (1987) 方法, 切下距根尖 2 cm 的横切面和叶片中部的横切面, 投入液氮。移到 SBC-1 型试样表面处理机上抽真空, 喷碳。用 XL30-ESEM 扫描电镜观察, X-射线能谱分析仪记录不同组织细胞的离子峰值, 用附带标样程序计算机判断各峰值代表的离子种类, 并计算 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Cl^- 含量分别占细胞中无机离子总量的百分率。

1.5 质膜透性的测定

采用电导法 (杨孝育等, 1988), 用 DJS-1 数字式电导仪测定。

2 结果与分析

2.1 盐分和水胁迫对芦荟幼苗生长及叶片细胞透性的效应

与对照相比, NaCl 和 PEG 处理均明显抑制芦荟幼苗叶片伸长生长, 植株干物质积累速率均明显下降, 叶片电解质渗漏率上升, 叶片含水量也随着胁迫强度加大而逐渐显著下降。其中 -0.88 MPa PEG 处理的幼苗叶片伸长速率在 1% 和 5% 水平上均显著高于 -0.44 MPa NaCl 处理的, 而二者的干物

质积累速率、叶片含水量也无明显差异, -0.44 MPa NaCl 处理的幼苗叶片电解质渗漏率极显著高于 -0.88 MPa PEG 处理的(表 1)。这表明 NaCl 对芦荟幼苗生长的抑制作用显著大于 PEG 处理的。而在 -0.88 MPa NaCl 胁迫下芦荟幼苗仍维持其对照 30% 的叶片生长速率、57.55% 的叶片含水量和 48.6% 的干物质积累,说明旱生植物芦荟仍有一定的盐适应能力。

2.2 盐分和水分胁迫对芦荟幼苗根系、叶片离子含量和 $S_{K,Na}$ 的效应

表 2 所示,NaCl 胁迫下,芦荟根、叶的 Na^+ 、 Cl^- 含量均明显上升,在根中积累又多于叶片,尤其是根中的 Cl^- 在低(-0.44 MPa)高盐(-0.88 MPa)胁迫

下分别为对照的 7.2 和 10.4 倍。而 PEG 胁迫下 Na^+ 、 Cl^- 含量与对照差异不显著。随胁迫强度的加大,两种胁迫下根、叶的 K^+ 、 Ca^{2+} 含量、 K^+/Na^+ 、 Ca^{2+}/Na^+ 比率均逐渐降低,NaCl 处理对其的降低效应远大于 PEG 处理的,而不同渗透势 PEG 胁迫下根系的 Ca^{2+}/Na^+ 比与对照均无显著差异。

体内 K^+ 与 Na^+ 的比例与培养液中的比例的差异(以及植株内不同器官间比例的差异)反映了植物对离子吸收和运输的选择性, $S_{K,Na}$ 越大,植株对 K^+ 的选择性越大(郑青松等,2001)。NaCl 胁迫下芦荟根吸收 $S_{K,Na}$ 和根向叶片运输 $S_{K,Na}$ 均极显著高于对照,而 PEG 胁迫下芦荟根吸收 $S_{K,Na}$ 无显著变化,而叶片 $S_{K,Na}$ 显著下降。

表 1 NaCl 和 PEG 胁迫下芦荟幼苗干物质积累速率、叶片伸长速率、含水量和质膜透性的影响
Table 1 Effects of NaCl and PEG stresses on dry matter accumulation rate, leaf elongation rate, leaf water content and permeability of leaf plasma membrane in *Aloe* seedlings

处理 Treatment	干物质积累速率 Rate of dry matter accumulation ($mg \cdot plant^{-1} \cdot d^{-1}$)	叶片伸长速率 Elongation rate of leaf ($mm \cdot d^{-1}$)	叶片干重含水量 Water content of dry weight basis in leaves (%)	电解质渗漏率 Electrolytic leakage (%)
对照 Control	100.35 ^{aA}	0.74 ^{aA}	3 603.70 ^{aA}	18.72 ^{dC}
-0.44 MPa NaCl	76.86 ^{cC}	0.41 ^{dC}	2 841.18 ^{bC}	29.56 ^{bA}
-0.88 MPa NaCl	48.78 ^{dD}	0.22 ^{dD}	2 073.91 ^{dD}	33.60 ^{aA}
-0.44 MPa PEG	88.33 ^{bB}	0.65 ^{bB}	3 471.43 ^{aAB}	21.05 ^{eDBC}
-0.88 MPa PEG	82.57 ^{bcBC}	0.59 ^{bB}	3 025.00 ^{bBC}	24.63 ^{cB}

表中同一列标记相同的大(小)写字母表示它们在 1%(5%)水平上不存在显著性差异。Values within the same column follow by the same capital (small) letter are not significantly different at the level of 1%(5%)

表 2 NaCl 和 PEG 胁迫下芦荟幼苗离子含量、 Ca^{2+}/Na^+ 、 K^+/Na^+ 比率和 $S_{K,Na}$ 的影响
Table 2 Effects of NaCl and PEG stresses on ion content, Ca^{2+}/Na^+ , K^+/Na^+ ratio and $S_{K,Na}$ in *Aloe* seedlings

处理 Treatment	Na^+	K^+	Cl^-	Ca^{2+}	Ca^{2+}/Na^+	K^+/Na^+	$S_{K,Na}$
对照 Control	0.36 ^{cC}	0.65 ^{aA}	0.05 ^{cC}	0.87 ^{aA}	2.42 ^{aA}	1.81 ^{aA}	0.17 ^{cC}
-0.44 MPa NaCl	0.69 ^{bB}	0.33 ^{cC}	0.36 ^{bB}	0.78 ^{bB}	1.13 ^{bB}	0.48 ^{dD}	8.00 ^{bB}
-0.88 MPa NaCl	0.93 ^{aA}	0.24 ^{dD}	0.52 ^{aA}	0.65 ^{bB}	0.70 ^{cC}	0.26 ^{eE}	8.67 ^{aA}
-0.44 MPa PEG	0.35 ^{cC}	0.61 ^{aA}	0.05 ^{cC}	0.84 ^{abAB}	2.40 ^{aA}	1.74 ^{bA}	0.16 ^{cC}
-0.88 MPa PEG	0.34 ^{cC}	0.54 ^{bB}	0.06 ^{cC}	0.80 ^{bcAB}	2.35 ^{aA}	1.59 ^{bB}	0.15 ^{cC}
对照 Control	0.18 ^{bB}	2.24 ^{aA}	0.47 ^{cC}	1.67 ^{aA}	9.28 ^{aA}	12.44 ^{aA}	6.87 ^{cC}
-0.44 MPa NaCl	0.33 ^{aA}	1.87 ^{cC}	0.57 ^{bB}	1.49 ^{cC}	4.52 ^{dD}	5.67 ^{dD}	11.81 ^{bB}
-0.88 MPa NaCl	0.37 ^{aA}	1.48 ^{dD}	0.63 ^{aA}	1.31 ^{dD}	3.25 ^{eE}	4.00 ^{eE}	15.38 ^{aA}
-0.44 MPa PEG	0.18 ^{bB}	2.05 ^{bB}	0.49 ^{cC}	1.61 ^{bAB}	8.94 ^{bB}	11.39 ^{bB}	6.66 ^{dD}
-0.88 MPa PEG	0.18 ^{bB}	1.88 ^{cC}	0.49 ^{cC}	1.52 ^{bcBC}	8.44 ^{cC}	10.44 ^{cC}	6.57 ^{dD}

注:同表 1 Note: See table 1

2.3 盐分和水分胁迫对芦荟幼苗根系、叶片横切面细胞中无机离子分布的效应

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无机离子峰值(原始图略)换算成不同离子占离子总量的百分率(表 3)表明,PEG 培养液的根、叶细胞中 K^+ 、 Ca^{2+} 峰

值较高,而 Na^+ 、 Cl^- 峰值较低,与对照相似。而 NaCl 处理的根、叶细胞中 Na^+ 、 Cl^- 峰值比对照明显上升, K^+ 、 Ca^{2+} 峰值则下降,这一趋势在根细胞中尤为明显。这一结果与 NaCl 和 PEG 胁迫下芦荟根系和叶片中不同离子的含量测定(表 2)一致。

根系和叶片横切面不同组织中离子相对含量

表3 -0.88 MPa NaCl 和 PEG 胁迫下芦荟幼苗根、叶细胞 Na^+ 、 Cl^- 、 K^+ 和 Ca^{2+} 含量占无机离子总量百分率(%)的影响

Table 3 Effects of -0.88 MPa NaCl and PEG stresses on the percentage (%) of Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} and Cl^- contents in total inorganic ions of different tissues in *Aloe* root and leaf

		对照 Control	PEG	NaCl	
根 Root	表皮细胞 Epidermis cell	Na^+	12.89	18.22	21.26
		Cl^-	5.12	7.07	25.12
		K^+	29.88	28.98	18.97
		Ca^{2+}	15.55	6.63	8.91
	皮层细胞 Cortex cell	Na^+	11.98	14.21	23.03
		Cl^-	4.03	5.08	20.52
		K^+	37.04	30.72	20.55
		Ca^{2+}	21.57	25.95	6.18
	内皮层细胞 Endodermis cell	Na^+	16.92	17.32	20.19
		Cl^-	4.34	5.20	21.85
		K^+	53.23	27.69	20.98
		Ca^{2+}	12.61	13.18	6.05
韧皮部细胞 Phloem cell	Na^+	10.46	13.69	20.78	
	Cl^-	4.73	7.50	29.07	
	K^+	37.31	38.22	20.49	
	Ca^{2+}	15.06	7.22	2.81	
木质部细胞 Xylem cell	Na^+	14.57	17.35	25.79	
	Cl^-	4.13	6.90	23.16	
	K^+	28.96	34.48	16.26	
	Ca^{2+}	9.55	5.31	3.45	
叶 Leaf	表皮细胞 Epidermis cell	Na^+	3.09	1.53	5.80
		Cl^-	4.45	4.73	10.22
		K^+	34.76	38.11	38.13
		Ca^{2+}	36.90	32.36	27.67
	皮层细胞 Cortex cell	Na^+	3.40	0	10.46
		Cl^-	3.95	3.07	7.48
		K^+	37.15	50.42	38.86
		Ca^{2+}	32.35	41.86	15.23
	贮水组织细胞 Aqueous cell	Na^+	0	1.01	16.47
		Cl^-	8.92	7.97	24.12
		K^+	58.92	56.29	25.55
		Ca^{2+}	19.91	14.87	8.44
韧皮部细胞 Phloem cell	Na^+	3.07	2.75	10.58	
	Cl^-	5.54	8.77	10.76	
	K^+	55.26	52.06	44.44	
	Ca^{2+}	19.79	16.35	7.58	
木质部细胞 Xylem cell	Na^+	6.69	2.85	10.83	
	Cl^-	7.40	4.33	15.64	
	K^+	40.76	48.02	38.71	
	Ca^{2+}	23.23	30.11	9.43	

(表3)还表明,PEG胁迫下根皮层、内皮层细胞变化 Ca^{2+} 相对含量与对照差异不明显,而根维管束(韧皮部和木质部)和表皮细胞中 Ca^{2+} 相对含量下降,叶片皮层、木质部 K^+ 积累比对照均不同程度上升,说明 PEG 胁迫增强了芦荟向地上部运输 K^+ 的能力,PEG 胁迫对 Na^+ 、 Cl^- 吸收、运输和分布影响不大。NaCl 胁迫下根、叶不同组织中 Cl^- 积累的比例比 Na^+ 更多,根不同组织中 K^+ 相对含量均显著下降,

叶片中 Na^+ 、 Cl^- 相对含量增加, K^+ 、 Ca^{2+} 相对含量下降,在贮水组织中特别明显,从而使皮层、表皮和木质部细胞中 K^+ 相对含量维持在对照的水平,表明贮水组织具有缓解离子胁迫的能力。

3 讨论

植物耐旱、盐、高温、低温等机理经过数十年的研究,在诸多领域取得了重大进展。但大多是研究植物对单一逆境反应,鲜有植物对多种逆境抗性研究的报道。不同逆境引起的诸多植物相似反应,也有明显不同的反应。本实验通过比较干旱、盐渍胁迫下芦荟的生长及离子分布的变化,证明了不同逆境胁迫下植物的适应性反应有其相似性,但也有其特异性反应。

与 PEG 这类不能透过细胞质膜的渗透剂所引起的渗透胁迫相比,尽管 NaCl 胁迫也造成植物组织脱水,但在造成这种效应的同时,也使植物处于高浓度的离子环境当中,而这些离子是可以穿过细胞膜的,这就使得植物所处的环境既有着相同之处又有所区别,不同的环境因子以截然不同的方式、时间、部位和强度作用于植物,植物也以不同的方式作出相应不同的反应。从干旱、盐胁迫下芦荟的生长来看,两种胁迫均显著抑制芦荟幼苗的生长,但盐分胁迫对芦荟生长的抑制明显高于水分胁迫,即使 -0.44 MPa NaCl 对芦荟叶片伸长的抑制显著高于 -0.88 MPa PEG 处理的(表1),表明盐分对芦荟的伤害除渗透胁迫外更主要的来自 Na^+ 、 Cl^- 诱发的离子毒害、营养缺乏。

芦荟较高的耐旱性一方面与其有较高的渗透调节能力有关(郑青松等,2003),同时还与芦荟体内保持较高的 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 、 K^+/Na^+ 比率有关(表2),干旱下旱生植物能更好地维持体内的离子平衡是其耐旱水平高于中生植物的主要原因之一(Flowers & Yeo, 1986),说明维持细胞内离子稳态在植物对逆境的适应中起着重要作用。

盐胁迫下芦荟幼苗叶片的生长速率和干物质积累量明显下降,但在 -0.88 MPa NaCl 处理下仍维持一定的生长速率和相当于对照 48.6% 的干物质积累速率(表1),表明芦荟虽是耐旱植物但对盐胁迫仍有一定的适应能力。郑青松等(2003)最近的研究表明,盐胁迫下芦荟叶片具有明显的渗透调节能力。本实验从离子分配角度的研究表明,盐胁迫下芦荟幼苗根 Na^+ 、 Cl^- 含量上升幅度较大,而叶片盐分增加相对较少,随盐胁迫强度的整倍增加,叶片中盐分

上升并不显著(表 2,表 3),这可能与芦荟的生活习性有关,芦荟是典型的专性 CAM 植物,白天叶片气孔关闭,蒸腾很弱,盐分随着蒸腾流进入地上部的机会小,从而植株表现出较强的抗盐能力。特别有意义的是盐胁迫下芦荟叶片中贮水组织细胞盐分急剧积累(表 3),首次报告的这一现象表明贮水组织盐分的积累对缓解芦荟的离子毒害和渗透胁迫有着积极的贡献。盐胁迫下芦荟根系吸收 $S_{K,Na}$ 叶片运输 $S_{K,Na}$ 均显著增加(表 2),表明芦荟对 K^+ 的选择性吸收和运输增强,从而维持芦荟中相对较好的离子平衡。导致以上结果的原因可能是盐胁迫调节根尖、叶片等细胞质膜 H^+ -ATPase、液泡膜 H^+ -ATPase、 H^+ -PPase 活性,并激活 Na^+ / H^+ 逆向运输蛋白等质膜和液泡膜上蛋白的活性,从而提高了 K^+ 的选择性吸收和运输、 Na^+ 的排放及 Na^+ 、 Cl^- 器官、组织和细胞水平上的不均一分配。尚有待进一步研究。

参 考 文 献

- Flowers, T. J. & A. R. Yeo. 1986. Ion relations of plants under drought and salinity. *Australia Journal of Plant Physiology*, **13**: 75 ~ 91.
- Hao, L. Q. (郝立勤) & W. Hao (郝薇). 1999. Industrial developmental prospects of *Aloe*. *Flavour Fragrance Cosmetic(香料香精化妆品)*, **2**:23 ~ 26. (in Chinese with English abstract)
- Hunt, J. 1982. Dilute hydrochloric acid extraction of plant material for routine cation analysis. *Communication in Soil Science Plant Annual*, **13**: 49 ~ 55.
- Li, Y. Z. (李云政), H. Y. Qin (秦海元) & Q. H. Wang (王青华). 2000. Progress in research and development of *Aloe vera*. *Progress in Chemical Industry(化工进展)*, **2**:19 ~ 22. (in Chinese with English abstract)
- Liu, Y. L. (刘友良) & L. J. Wang (汪良驹). 1998. Responses to salt stress in plants and its salt tolerance. In: Yu, S. W. (余叔文) & Z. C. Tang (汤章城) eds. *Plant physiology and molecular biology*. Beijing: Science Press. 752 ~ 769. (in Chinese)
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, **25**: 239 ~ 250.
- Ren, H. X. (任红旭), X. Chen(陈雄) & Y. F. Wang(王亚馥). 2001. Changes in antioxidative enzymes and polyamines in wheat seedlings with different drought resistance under drought and salt stress. *Acta Phytocologica Sinica(植物生态学报)*, **25**: 709 ~ 715. (in Chinese with English abstract)
- Shi, W. M. (施卫明), M. X. Xu (徐梦熊) & Z. Y. Liu (刘芷宇). 1987. The nutrient status of soil - root interface. IV. Study on sample preparation procedure for electron microprobe and its applications. *Acta Pedologica Sinica (土壤学报)*, **24**: 286 ~ 290. (in Chinese with English abstract)
- Tang, Z. C. (汤章城). 1998. Adapted mechanism to osmotic stress and submergence stress. In: Yu, S. W. (余叔文) & Z. C. Tang (汤章城) eds. *Plant physiology and molecular biology*. Beijing: Science Press. 739 ~ 751. (in Chinese)
- Xiong, Y. Q. (熊佑清) & L. Yao(姚利). 2000. *Aloe*. Beijing: China Agricultural University Press. (in Chinese)
- Yang, X. Y. (杨孝育) & C. D. Liu (刘存德). 1988. Injury induced from low-temperature and relation between it and adenylate metabolism. *Acta Phytophysiological Sinica (植物生理学报)*, **14**: 344 ~ 349. (in Chinese with English abstract)
- Yu, B. J. (於丙军), Q. Y. Luo(罗庆云) & Y. L. Liu(刘友良). 2001. Effects of salt stress on growth and ionic distribution of salt-born *Glycine soja*. *Acta Agronomica Sinica(作物学报)*, **27**: 776 ~ 780. (in Chinese with English abstract)
- Zheng, Q. S. (郑青松), R. L. Wang (王仁雷) & Y. L. Liu (刘友良). 2001. Effects of Ca^{2+} on absorption and distribution of ions in salt-treated cotton seedlings. *Acta Phytophysiological Sinica(植物生理学报)*, **27**: 325 ~ 330. (in Chinese with English abstract)
- Zheng, Q. S. (郑青松), L. Liu(刘玲), Y. L. Liu(刘友良) & Z. P. Liu(刘兆普). 2003. Effects of salt and water stresses on osmotic adjustment and osmotica accumulation in *Aloe vera* seedlings. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology(植物生理与分子生物学报)*, **29**: 585 ~ 588. (in Chinese with English abstract)