植物营养与肥料学报 2013,19(4):908-917
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2013.0417

盐胁迫对小型西瓜幼苗体内离子分布的影响

韩志平[1,2], 郭世荣[1*], 郑瑞娜[1], 束 胜[1], 闫海霞[1]
(1 南京农业大学园艺学院,农业部南方蔬菜遗传改良重点开放实验室, 江苏南京 210095;
2 山西大同大学农学与生命科学学院, 山西大同 037009)

摘要: 采用营养液水培法,研究了不同 NaCl 浓度对耐盐性不同的两个小型西瓜品种("秀雅"和"秀丽")幼苗体内离子分布的影响。结果表明,NaCl 胁迫抑制了西瓜幼苗的生长,"秀雅"生长受抑制程度明显小于"秀丽"; 随 NaCl 浓度的提高,植株体内 Na^+ 和 Cl^- 含量增加,K^+、Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量降低。5 种离子在器官间呈区域化分布,Cl^- 主要积累在茎中而 Na^+ 主要积累于茎和根中; K^+ 含量在茎中降低幅度较大,叶中降低幅度较小; Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 主要存在于茎和叶中,且在叶中降低幅度较小。NaCl 胁迫下,西瓜根向茎选择性运输 K^+ 和 Ca^{2+} 的能力降低,而茎向叶选择性运输的能力提高,有利于减轻 NaCl 胁迫对叶片的伤害。与"秀丽"相比,"秀雅"叶中 K^+、Ca^{2+} 含量降低幅度较小,Cl^- 和 Na^+ 积累量较少,K^+/Na^+ 和 Ca^{2+}/Na^+ 比值均较高,茎向叶运输的 $S_{K,Na}$ 和 $S_{Ca,Na}$ 值也较高。以上结果说明,向叶片运输 Na^+ 的选择性较低,是"秀雅"耐盐性较强的主要原因之一,离子在器官水平上的区域化分布是西瓜植株适应盐胁迫的重要生理机制之一。

关键词: 小型西瓜; 盐胁迫; 离子分布; 选择性运输
中图分类号: Q945.78; S651 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)04-0908-10

Effect of salinity on distribution of ions in mini-watermelon seedlings

HAN Zhi-ping[1,2], GUO Shi-rong[1*], ZHENG Rui-na[1], SHU Sheng[1], YAN Hai-xia[1]
(*1 College of Horticulture, Nanjing Agricultural University/Key Laboratory of Southern Vegetable Crop Genetic Improvement, Ministry of Agriculture, Nanjing 210095, China;*
2 College of Agriculture and Life Science, Shanxi Datong University, Datong 037009, China)

Abstract: A hydroponic cultivation experiment was carried out with two mini-watermelon cultivars differing in salt tolerance to study the effect of different NaCl concentrations on ions distribution in watermelon seedlings. The results show that NaCl stress inhibits the growth of watermelon seedlings, and the extent of inhibition for 'Xiuya' is less than that of 'Xiuli'. Increasing NaCl concentration, the Na^+ and Cl^- contents of the seedlings are increased, while the K^+, Ca^{2+} and Mg^{2+} contents decreased. The five ions present a compartmentalized distribution. Cl^- mainly accumulates in the stems and Na^+ mainly concentrates in roots and stems. The decreased range of the K^+ contents is larger in stems and smaller in leaves, Ca^{2+} and Mg^{2+} mainly exist in stems and leaves and the declined extent in leaves is less. The abilities of selective transportation of K^+ and Ca^{2+} from roots to stems are decreased, while the abilities from stems to leaves are increased under the NaCl stress, which contributes to alleviate the damage of NaCl stress to leaves. Compared to cv. 'Xiuli', the K^+ and Ca^{2+} contents in leaves of cv. 'Xiuya' reduced less, Cl^- and Na^+ accumulations are less. As a consequence, K^+/Na^+ and Ca^{2+}/Na^+ radios are higher, and $S_{K,Na}$ and $S_{Ca,Na}$ ratios of selective transportations from stems to leaves are also higher. This research reveals that lower selective transportation of Na^+ to leaves is one of main reasons for cv. 'Xiuya' with more salt-tolerance, and the compartmentalized distribution of ions on the organs is one of physiological adaptation mechanisms of watermelon

收稿日期: 2012-10-24 **接受日期:** 2013-02-13
基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2009CB119000);现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-25-C-03); 江苏省农业三新工程项目(SX[2011]289,SXGC[2012]391)资助。
作者简介: 韩志平(1976—),男,山西盂县人,博士,副教授,主要从事园艺植物逆境生理研究。
Tel: 0352-7563032, E-mail: hanzhiping0215@163.com。 * 通信作者 Tel: 025-84396267, E-mail: srguo@njau.edu.cn

plants to salinity.

Key words: mini-watermelon; salinity; ions distribution; selective transportation

对植物生长有害的盐分水平影响着世界上大部分的土壤，已成为制约农业生产的重要非生物胁迫因子之一[1]。盐胁迫对植物生长的危害主要包括渗透胁迫、离子毒害和矿质营养缺乏[2]，这三方面都与植株对盐离子的吸收和分布有直接或间接的关系。K^+、Na^+、Ca^{2+}和Cl^-是盐胁迫下植物进行渗透调节的主要无机离子，Na^+和Cl^-的过量积累十分有害，是盐胁迫造成植物生长发育受到抑制的主要原因之一[3]。植物耐盐性的一个重要机理就是将过量盐离子限制在液泡中或在不同组织中区域化分布，以保证代谢的正常进行[4]。植物对离子的选择性吸收和区域化分布的能力与其耐盐性密切相关，且不同品种间存在明显差异[5]。

前人对大豆[6]、高粱[7]、小麦[8]、玉米[9]、马铃薯[10]、番茄[11-12]、黄瓜[13]、草莓[14]等作物在盐胁迫下的体内离子分布进行了报道。西瓜（*Citrullus lanutus* M.）作为设施园艺生产中重要的瓜果类作物之一，常受到设施内土壤次生盐渍化的影响。但国内外的研究较多地集中于西瓜种子萌发期耐盐性[15]和嫁接对西瓜耐盐性的影响[16-17]，关于其耐盐机理仅有少数报道，并认为活性氧大量产生[18]、光合作用降低[19]、Na^+和Cl^-在地上部的积累[20]是盐胁迫抑制西瓜植株生长甚至死亡的主要原因。耐盐西瓜品种抗氧化酶活性较高、净光合速率降低幅度较小。目前有关西瓜植株体内离子区域化分布与其耐盐性关系的研究尚未见专题报道。为此，本试验采用营养液水培法，研究了NaCl胁迫下小型西瓜幼苗体内Na^+、Cl^-、K^+、Ca^{2+}和Mg^{2+}等含量的变化，分析盐胁迫对离子在器官间区域化分布的影响，探讨盐胁迫下西瓜植株离子伤害的机制和耐性机理，为提高瓜果类作物的耐盐性提供理论基础。

1　材料与方法

1.1　试验材料与设计

试验在南京农业大学玻璃温室内进行。以设施园艺与无土栽培实验室筛选得到的耐盐性较强的“秀雅”和耐盐性较弱的“秀丽”品种（均由安徽省农科院园艺研究所提供）为材料。种子经浸种催芽后播于装有石英砂的塑料盘中育苗，保持昼/夜温度22～30 ℃/15～20 ℃，自然光照，子叶展平后浇灌1/2浓度的Hoagland营养液。3叶1心时，选生长健壮、整齐一致的幼苗定植于装有1/2浓度的Hoagland营养液的栽培槽中，用气泵间歇（30 min/h）通气培养。缓苗3 d后开始处理，在营养液中添加分析纯NaCl使各处理NaCl浓度分别达到0（CK）、25、50、75、100、150 mmol/L，EC值分别为1.48 ±0.10、4.05 ±0.12、6.75 ±0.15、9.35 ±0.13、11.80 ±0.16、16.65 ±0.22 mS/cm。试验重复3次，每个重复12株幼苗，完全随机排列。

1.2　测定项目和方法

处理后第9 d每重复随机取4株幼苗测定植株生物量，同时测定幼苗根、茎（含叶柄）、叶中Na^+、Cl^-、K^+、Ca^{2+}和Mg^{2+}的含量。

生物量的测定　幼苗用去离子水冲洗干净并吸干水分称得鲜重，在105℃下杀青15 min后再于75℃下烘干至恒重，称得干重。

离子含量的测定　取植株根、茎和叶3部分的烘干样品，磨碎过0.5 mm筛后，放置于干燥器中备用。参照王宝山和赵可夫的方法[21]略加改进，称取烘干样品50 mg于大试管中，加20 mL去离子水摇匀，沸水浴2 h，冷却后过滤于50 mL容量瓶中。Na^+、K^+、Ca^{2+}和Mg^{2+}含量用Optima 2100 DV电感耦合等离子发射光谱仪测定；Cl^-含量采用$AgNO_3$滴定法测定，以含4.2%（W/V）K_2CrO_4和0.7%（W/V）$K_2Cr_2O_7$的中性指示剂取代5% K_2CrO_4[22]。

离子选择性运输比率　离子运输的K^+、Na^+和Ca^{2+}、Na^+选择性比率（Selective ratio，$S_{K,Na}$或$S_{Ca,Na}$）指K^+相对Na^+或Ca^{2+}相对Na^+从源器官向库器官运输的优先程度，选择性比率越大，越有利于K^+或Ca^{2+}由源器官向库器官的运输而不利于Na^+的运输。按下列公式计算[23]：

离子运输 $S_{K,Na}$ = 库器官（[K^+]/[Na^+]）/源器官（[K^+]/[Na^+]）

离子运输 $S_{Ca,Na}$ = 库器官（[Ca^{2+}]/[Na^+]）/源器官（[Ca^{2+}]/[Na^+]）

试验数据用SAS软件进行单因素方差分析，Duncan's新复极差法进行平均数间的多重比较。

2　结果与分析

2.1　盐胁迫对西瓜幼苗生物量的影响

表1结果表明，“秀雅”植株生物量在75

mmol/L NaCl 浓度以下无显著变化,75 mmol/L 以上随 NaCl 浓度提高而显著降低;“秀丽”植株生物量则随 NaCl 浓度的提高而显著降低。“秀雅”和“秀丽”植株鲜重在 75、100 和 150 mmol/L NaCl 下,分别比 CK 降低 5.90%、21.85%、54.71% 和 24.48%、38.70%、71.71%;植株干重在 100 和 150 mmol/L NaCl 下,分别比 CK 降低 6.56%、36.45% 和 26.29%、58.84%。结果说明,盐胁迫显著抑制了西瓜幼苗的生长,且对“秀丽”生长的抑制作用明显大于“秀雅”。

表1 盐胁迫对西瓜幼苗生物量的影响(g/plant)

Table 1 Effects of salinity on biomass of watermelon seedlings

盐浓度(mmol/L) NaCl concentration	植株鲜重 Plant fresh mass		植株干重 Plant dry mass	
	秀雅 Xiuya	秀丽 Xiuli	秀雅 Xiuya	秀丽 Xiuli
0	12.07 ±0.32 ab	15.11 ±0.33 a	0.97 ±0.02 ab	1.19 ±0.02 a
25	12.85 ±0.33 a	14.08 ±0.33 ab	1.01 ±0.03 a	1.11 ±0.03 ab
50	12.15 ±0.37 ab	13.29 ±0.49 b	1.04 ±0.04 a	1.09 ±0.05 bc
75	11.35 ±0.32 b	11.41 ±0.30 c	1.00 ±0.02 a	1.01 ±0.02 c
100	9.43 ±0.28 c	9.26 ±0.26 d	0.91 ±0.03 b	0.88 ±0.02 d
150	5.47 ±0.25 d	4.28 ±0.16 e	0.62 ±0.04 c	0.49 ±0.03 e

注(Note):表中数据为3次重复的平均数 The data in the table represent average of three replication. 同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatment at the 5% level.

2.2 盐胁迫对西瓜幼苗不同器官中离子含量的影响

2.2.1 对 Na^+ 和 Cl^- 含量的影响 图1显示,两品种茎和叶中 Cl^- 含量随 NaCl 浓度提高而显著增加,且增加幅度为茎 > 叶;根中 Cl^- 含量则呈“增加—降低”的规律,在 50 mmol/L NaCl 下达到最大值,但不同 NaCl 浓度下均显著高于 CK。50 mmol/L NaCl 浓度以下,两品种不同器官中 Cl^- 含量为茎 > 根 > 叶,75 mmol/L 浓度以上则为茎 > 叶 > 根。除“秀丽”根中 Na^+ 含量在 75 mmol/L NaCl 下达到最大后又显著降低外,两品种各器官中 Na^+ 含量均随 NaCl 浓度提高而显著增加,且增加幅度为茎 > 根 > 叶。“秀雅”不同器官中 Na^+ 含量为茎 > 根 > 叶,“秀丽”在 50 mmol/L NaCl 浓度以下为根 > 茎 > 叶,75 mmol/L 以上则为茎 > 根 > 叶。除 150 mmol/L NaCl 下“秀雅”根中 Cl^- 和 Na^+ 含量高于“秀丽”外,不同 NaCl 浓度下“秀雅”叶和根中 Cl^- 和 Na^+ 含量均低于“秀丽”,但茎中 Cl^- 和 Na^+ 含量均高于“秀丽”;随 NaCl 浓度提高,“秀雅”茎中 Cl^- 和 Na^+ 含量的增加幅度大于“秀丽”,叶中增加幅度则小于“秀丽”。说明盐胁迫造成各器官中 Cl^- 和 Na^+ 大量积累,根系吸收 Cl^- 后并没有截留,而是较多地运往地上部,积累于茎和叶特别是茎中;低浓度 NaCl 下植株吸收的 Na^+ 主要截留在根中,以避免对地上部造成伤害,高盐胁迫下除一部分截留于根中外,较多地运往地上部特别是茎中贮存起来,且“秀雅”茎对 Cl^- 和 Na^+ 的贮积量明显高于“秀丽”,有利于减轻对叶片的离子毒害。

2.2.2 对 K^+ 和 Ca^{2+} 含量的影响 图2表明,除“秀雅”茎中 K^+ 含量在 25 mmol/L NaCl 下与 CK 无显著差异外,叶中 K^+ 含量在 25 mmol/L NaCl 下高于 CK, 50 mmol/L NaCl 下与 CK 无显著差异,“秀丽”叶中 K^+ 含量在 25 mmol/L NaCl 下与 CK 无显著差异外,两品种各器官中 K^+ 含量均随 NaCl 浓度的提高而显著降低,且降低幅度为茎 > 根 > 叶、“秀雅” <“秀丽”。两品种不同器官中 K^+ 含量在 CK 下为茎 > 根 > 叶,各浓度 NaCl 下则为茎 > 叶 > 根。不同浓度 NaCl 下“秀雅”根和叶中 K^+ 含量均高于“秀丽”,茎中 K^+ 含量在 25 和 50 mmol/L NaCl 下低于“秀丽”,75 mmol/L 浓度以上则高于“秀丽”。根中 Ca^{2+} 含量“秀雅”在 25 mmol/L NaCl 下、“秀丽”在 75 mmol/L NaCl 浓度以下与 CK 无显著差异,其它浓度 NaCl 下显著低于 CK,但不同 NaCl 浓度间差异不显著;除“秀雅”茎中、两品种叶中 Ca^{2+} 含量在 25 和 50 mmol/L NaCl 下与 CK 无显著差异外,两品种茎和叶中 Ca^{2+} 含量随 NaCl 浓度提高而显著降低,且降低幅度为茎 > 叶、“秀雅” <“秀丽”。两品种各器官中 Ca^{2+} 含量除“秀丽”在 CK 和 25 mmol/L

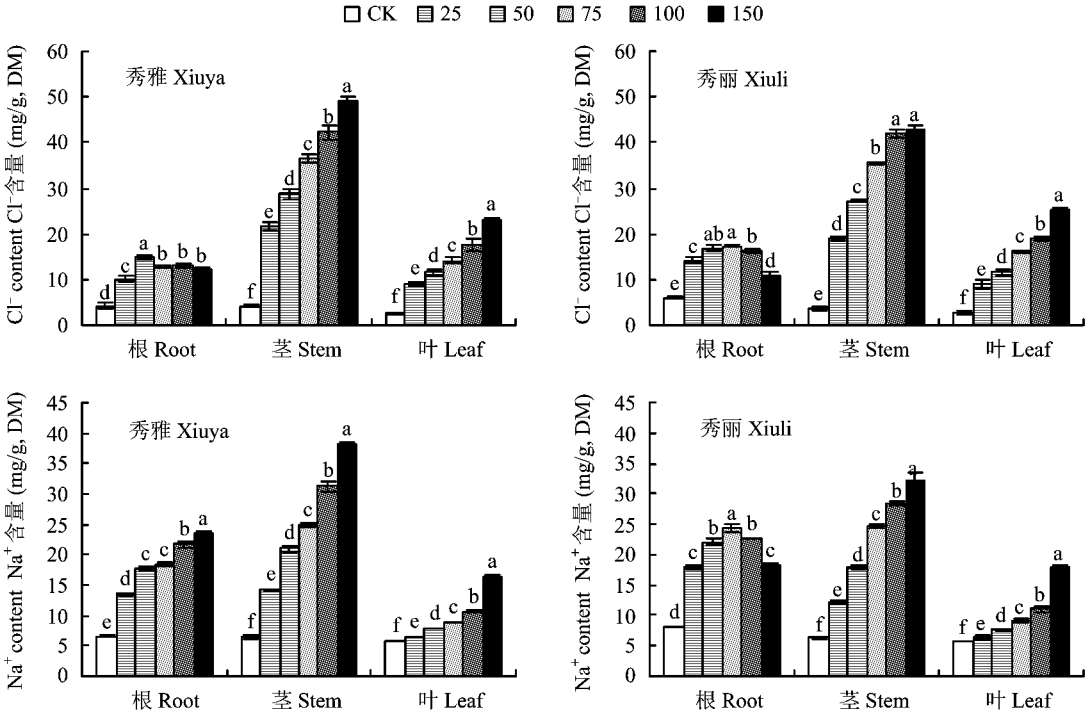

图 1　盐胁迫对西瓜幼苗不同器官中 Cl^- 和 Na^+ 含量的影响

Fig. 1　Effects of salinity on Cl^- and Na^+ contents in different organs of watermelon seedlings

[注(Note): 柱上不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars mean significant at 5% levels.]

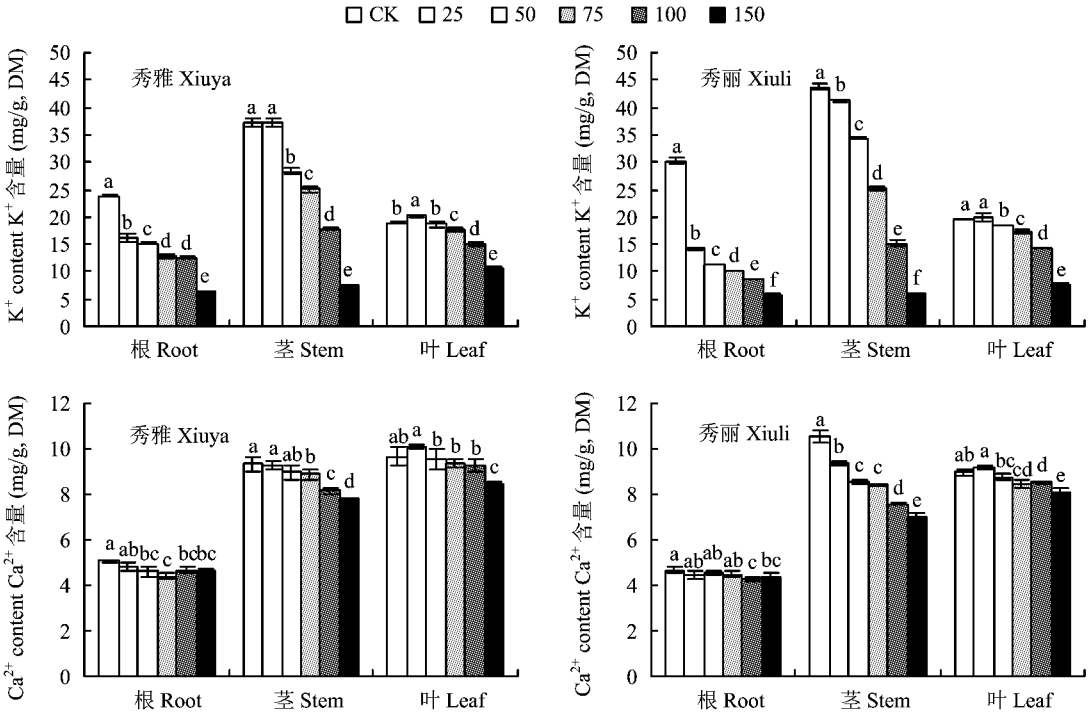

图 2　盐胁迫对西瓜幼苗不同器官中 K^+ 和 Ca^{2+} 含量的影响

Fig. 2　Effects of salinity on K^+ and Ca^{2+} contents in different organs of watermelon seedlings

[注(Note): 柱上不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars mean significant at 5% levels.]

NaCl 下为茎 > 叶 > 根外,不同处理下均为叶 > 茎 > 根。25 mmol/L NaCl 下两品种茎中 Ca^{2+} 含量基本相同,其他浓度 NaCl 下"秀雅"各器官中 Ca^{2+} 含量均高于"秀丽"。

结果表明,盐胁迫引起西瓜各器官对 K^+ 的利用率显著下降,低浓度盐仅抑制"秀丽"茎对 Ca^{2+} 的利用率,对"秀雅"各器官 Ca^{2+} 的利用率没有影响,高盐胁迫则使两品种茎和叶中 Ca^{2+} 含量显著降低;而叶对 K^+ 和 Ca^{2+} 的利用率保持在较高水平,以维持叶片的营养需求和生理活动;盐胁迫下"秀雅"各器官中 K^+ 和 Ca^{2+} 含量高于"秀丽",说明"秀雅"对 K^+ 和 Ca^{2+} 的吸收和利用能力强于"秀丽",有利于其适应盐胁迫环境。

2.2.3 对 Mg^{2+} 含量的影响 图 3 显示,两品种根中 Mg^{2+} 含量在盐胁迫下显著降低,但不同 NaCl 浓度间差异不显著;除"秀雅"叶中 Mg^{2+} 含量在 25 mmol/L NaCl 下与 CK 无显著差异外,两品种茎和叶中 Mg^{2+} 含量随 NaCl 浓度提高而显著降低,且降低幅度为茎 > 叶。除 CK 和 25 mmol/L NaCl 下 Mg^{2+} 含量茎 > 叶外,两品种各器官中 Mg^{2+} 含量均为叶 > 茎 > 根。不同 NaCl 浓度下,"秀雅"根中 Mg^{2+} 含量高于"秀丽",茎和叶中 Mg^{2+} 含量两品种间无显著差异。说明西瓜茎中 Mg^{2+} 含量受盐胁迫的抑制程度较大,叶和根中 Mg^{2+} 含量受影响较小;同时"秀雅"在 NaCl 胁迫下根系吸收 Mg^{2+} 的能力强于"秀丽",有利于缓解 Na^+ 和 Cl^- 吸收过多对植株造成的伤害。

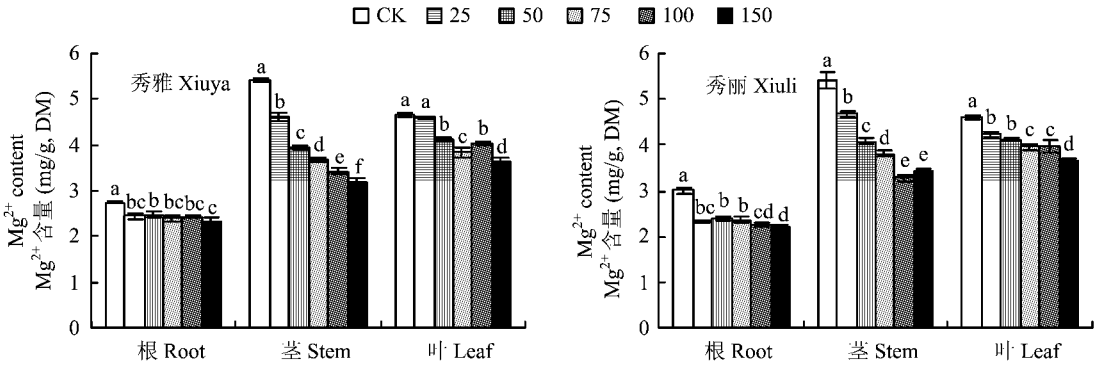

图 3 盐胁迫对西瓜幼苗不同器官中 Mg^{2+} 含量的影响

Fig. 3 Effects of salinity on Mg^{2+} contents in different organs of watermelon seedlings

[注(Note):柱上不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant at 5% levels.]

2.3 盐胁迫对西瓜幼苗不同器官 K^+/Na^+ 和 Ca^{2+}/Na^+ 比值的影响

从表 2 可以看出,两品种根、茎和叶中 K^+/Na^+ 比值均随 NaCl 浓度提高而显著降低,且降低幅度为茎 > 根 > 叶、"秀雅" < "秀丽"。两品种各器官中 K^+/Na^+ 比值在 CK 下为茎 > 根 > 叶,150 mmol/L NaCl 下根 > 茎,100 mmol/L NaCl 下"秀雅"根与茎中无明显差异,25 mmol/L NaCl 下"秀丽"茎 > 叶,其他浓度 NaCl 下两品种均为叶 > 茎 > 根。"秀雅"根中 K^+/Na^+ 比值在 150 mmol/L NaCl 下低于"秀丽",其它浓度 NaCl 下均高于"秀丽";茎中 K^+/Na^+ 比值在 75 mmol/L NaCl 浓度以下低于"秀丽",100 和 150 mmol/L NaCl 下则高于"秀丽";两品种叶中 K^+/Na^+ 比值在 25 和 50 mmol/L NaCl 下基本一致,其它 NaCl 浓度下均为"秀雅" > "秀丽"。

除"秀丽"根中 Ca^{2+}/Na^+ 比值在 75 mmol/L NaCl 下达到最低后又升高外,两品种根、茎和叶中 Ca^{2+}/Na^+ 比值均随 NaCl 浓度的提高而显著降低,且降低幅度为茎 > 根 > 叶(表 3)。各器官中 Ca^{2+}/Na^+ 比值,"秀雅"在所有处理下均为叶 > 茎 > 根,"秀丽"在 CK 下为茎 > 叶 > 根,150 mmol/L NaCl 下为叶 > 根 > 茎,其他浓度 NaCl 下也为叶 > 茎 > 根。除根中 Ca^{2+}/Na^+ 比值在 150 mmol/L NaCl 下低于"秀丽"外,"秀雅"根和叶中 Ca^{2+}/Na^+ 比值均高于"秀丽";而茎中 Ca^{2+}/Na^+ 比值除在 75 mmol/L NaCl 下外,"秀雅"均低于"秀丽"。随 NaCl 浓度提高,"秀雅"根中 Ca^{2+}/Na^+ 比值的降低幅度大于"秀丽";茎和叶中 Ca^{2+}/Na^+ 比值的降低幅度则均小于"秀丽"。

结果说明,盐胁迫造成西瓜选择性吸收 K^+ 和 Ca^{2+} 的能力显著降低,选择性吸收 Na^+ 的能力则显著增加,相对而言不同器官选择性吸收 K^+ 和 Ca^{2+}

表 2　盐胁迫对西瓜幼苗不同器官中 K^+/Na^+ 比值的影响

Table 2　Effects of salinity on K^+/Na^+ ratios in different organs of watermelon seedlings

盐浓度(mmol/L) NaCl concentration	秀雅 Xiuya			秀丽 Xiuli		
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
0	3.62 ±0.12 a	5.67 ±0.34 a	3.26 ±0.01 a	3.69 ±0.04 a	6.94 ±0.10 a	3.41 ±0.03 a
25	1.19 ±0.05 b	2.63 ±0.08 b	3.05 ±0.04 b	0.79 ±0.02 b	3.40 ±0.11 b	3.05 ±0.15 b
50	0.85 ±0.01 c	1.34 ±0.05 c	2.35 ±0.07 c	0.51 ±0.01 c	1.91 ±0.03 c	2.43 ±0.01 c
75	0.70 ±0.01 d	1.01 ±0.03 d	2.00 ±0.02 d	0.41 ±0.01 d	1.01 ±0.02 d	1.93 ±0.09 d
100	0.58 ±0.01 e	0.57 ±0.02 e	1.41 ±0.04 e	0.38 ±0.01 d	0.54 ±0.02 e	1.30 ±0.05 e
150	0.27 ±0.01 f	0.20 ±0.00 f	0.63 ±0.04 f	0.31 ±0.01 e	0.18 ±0.01 f	0.42 ±0.03 f

注(Note):表中数据为 3 次重复的平均数 The data in the table represent average of three replication. 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatment at the 5% level.

表 3　盐胁迫对西瓜幼苗不同器官中 Ca^{2+}/Na^+ 比值的影响

Table 3　Effects of salinity on Ca^{2+}/Na^+ ratios in different organs of watermelon seedlings

盐浓度(mmol/L) NaCl concentration	秀雅 Xiuya			秀丽 Xiuli		
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
0	0.77 ±0.01 a	1.42 ±0.01 a	1.67 ±0.07 a	0.57 ±0.02 a	1.68 ±0.08 a	1.56 ±0.04 a
25	0.36 ±0.01 b	0.66 ±0.02 b	1.53 ±0.02 b	0.25 ±0.01 b	0.77 ±0.03 b	1.41 ±0.07 b
50	0.26 ±0.01 c	0.43 ±0.02 c	1.20 ±0.07 c	0.21 ±0.00 c	0.47 ±0.01 c	1.15 ±0.02 c
75	0.24 ±0.01 d	0.36 ±0.01 d	1.06 ±0.02 d	0.18 ±0.01 d	0.34 ±0.01 d	0.94 ±0.04 d
100	0.21 ±0.00 e	0.26 ±0.01 e	0.86 ±0.03 e	0.19 ±0.00 d	0.27 ±0.00 e	0.77 ±0.03 e
150	0.20 ±0.01 e	0.20 ±0.00 f	0.51 ±0.01 f	0.24 ±0.01 b	0.22 ±0.01 e	0.45 ±0.01 f

注(Note):表中数据为 3 次重复的平均数 The data in the table represent average of three replication. 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatment at the 5% level.

的能力为叶 > 茎 > 根;盐胁迫下"秀雅"根和叶选择性吸收 K^+ 和 Ca^{2+} 的能力高于"秀丽",而茎选择性吸收 Ca^{2+} 及在低盐浓度下选择性吸收 K^+ 的能力低于"秀丽",表明"秀雅"茎向叶运输 K^+ 和 Ca^{2+} 的能力较高,有利于缓解盐胁迫对植株的伤害。

2.4　盐胁迫对西瓜幼苗不同器官 K^+、Na^+ 和 Ca^{2+}、Na^+ 运输选择性比率的影响

表 4 显示,两品种根向茎运输的 $S_{K,Na}$ 值随 NaCl 浓度提高呈"升高—降低"的规律,其中"秀雅"在 25 mmol/L NaCl 下高于 CK,50 mmol/L NaCl 下与 CK 无显著差异,75 mmol/L 浓度以上则低于 CK;"秀丽"在 75 mmol/L NaCl 浓度以下高于 CK,100 和 150 mmol/L NaCl 下低于 CK。两品种茎向叶运输的 $S_{K,Na}$ 值,除"秀丽"在 150 mmol/L NaCl 下降低外,均随 NaCl 浓度提高而显著增加。两品种根向茎运输的 $S_{Ca,Na}$ 值除在 25 mmol/L NaCl 下略高于 CK 外,均随 NaCl 浓度提高而显著降低;茎向叶运输的 $S_{Ca,Na}$ 值则随 NaCl 浓度提高呈"升高—降低"的规律,在 100 mmol/L NaCl 下达到最大值(表 5)。"秀雅"根向茎运输的 $S_{K,Na}$ 值和 $S_{Ca,Na}$ 值在 150 mmol/L NaCl 下高于"秀丽",其它处理下均低于"秀丽",且随 NaCl 浓度提高的降低幅度小于"秀丽";所有处理下"秀雅"茎向叶运输的 $S_{K,Na}$ 值和 $S_{Ca,Na}$ 值均高于"秀丽",且随 NaCl 浓度提高的增加幅度大于"秀丽"。

结果说明,盐胁迫造成西瓜根向茎选择性运输 K^+ 和 Ca^{2+} 的能力降低,而茎向叶选择性运输 K^+ 和 Ca^{2+} 的能力增强;盐胁迫下"秀雅"根向茎选择性运输 K^+ 和 Ca^{2+} 的降低幅度小于"秀丽",而茎向叶选择性运输 K^+ 和 Ca^{2+} 的能力大于"秀丽",限制了 Na^+ 向叶片的运输,维持了叶片中适当的 Ca^{2+} 浓度,从而减轻了盐胁迫对其细胞膜的伤害。

表4 盐胁迫对西瓜幼苗 K^+、Na^+ 运输选择性 $S_{K,Na}$ 值的影响

Table 4 Effect of salinity on transporting selective ratios of K^+ to Na^+ in watermelon seedling

盐浓度(mmol/L) NaCl concentration	秀雅 Xiuya		秀丽 Xiuli	
	根-茎 Root -Stem	茎-叶 Stem -Leaf	根-茎 Root -Stem	茎-叶 Stem -Leaf
0	1.569 ±0.147 b	0.576 ±0.034 f	1.881 ±0.049 d	0.492 ±0.005 f
25	2.217 ±0.034 a	1.159 ±0.023 e	4.328 ±0.183 a	0.898 ±0.041 e
50	1.582 ±0.073 b	1.754 ±0.115 d	3.743 ±0.078 b	1.277 ±0.020 d
75	1.434 ±0.054 c	1.992 ±0.081 c	2.466 ±0.037 c	1.898 ±0.081 c
100	0.991 ±0.037 d	2.474 ±0.131 b	1.397 ±0.025 e	2.424 ±0.080 b
150	0.742 ±0.023 e	3.154 ±0.175 a	0.586 ±0.063 f	2.265 ±0.065 a

注(Note):表中数据为3次重复的平均数 The data in the table represent average of three replication. 同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatment at the 5% level.

表5 盐胁迫对西瓜幼苗 Ca^{2+}、Na^+ 运输选择性 $S_{Ca,Na}$ 值的影响

Table 5 Effect of salinity on transporting selective ratios of Ca^{2+} to Na^+ in watermelon seedling

盐浓度(mmol/L) NaCl concentration	秀雅 Xiuya		秀丽 Xiuli	
	根-茎 Root -Stem	茎-叶 Stem -Leaf	根-茎 Root -Stem	茎-叶 Stem -Leaf
0	1.841 ±0.043 a	1.171 ±0.044 d	2.951 ±0.233 a	0.933 ±0.047 f
25	1.850 ±0.052 a	2.326 ±0.064 c	3.121 ±0.129 a	1.836 ±0.026 e
50	1.648 ±0.035 b	2.836 ±0.307 b	2.304 ±0.025 b	2.430 ±0.064 c
75	1.482 ±0.103 c	2.996 ±0.074 b	1.852 ±0.086 c	2.760 ±0.083 b
100	1.224 ±0.045 d	3.304 ±0.235 a	1.418 ±0.028 d	2.890 ±0.079 a
150	1.026 ±0.025 e	2.500 ±0.054 c	0.928 ±0.020 e	2.077 ±0.043 d

注(Note):表中数据为3次重复的平均数 The data in the table represent average of three replication. 同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatment at the 5% level.

3 讨论

盐胁迫下,由于植株碳同化量减少、渗透调节能耗和维持生长能耗增加等原因,一般会使植株生长量和生物积累量减少[24-25]。本试验中,较低浓度(≤75 mmol/L)NaCl 对"秀雅"幼苗生长没有明显影响,却抑制了"秀丽"幼苗的生长,高盐胁迫(≥100 mmol/L NaCl)则严重抑制了两品种幼苗的生长,且"秀丽"生长受抑制程度明显大于"秀雅"。说明两品种的耐盐性存在明显差异,"秀雅"植株对盐胁迫的适应性强于"秀丽","秀丽"植株的耐盐性较弱。

盐胁迫常破坏植物体内的离子平衡,引起地上部 Na^+ 和 Cl^- 含量增加,Na^+ 和 Cl^- 在叶片中的过量积累导致植株生长发育受到抑制[26],造成离子毒害。离子区域化分布是植物耐盐的重要特性,盐胁迫下玉米[9]、小麦[27]、甜椒[28]和大豆[29]等根系中 Na^+ 含量较高,是主要的聚 Na^+ 部位。本研究中,西瓜根、茎和叶中 Na^+ 和 Cl^- 含量在盐胁迫下显著增加,低浓度 NaCl 下根是主要的聚 Na^+ 部位,高盐胁迫下 Na^+ 和 Cl^- 主要积累在茎中,叶中含量相对较低。这与杨晓英等[30]和於丙军等[29]在野生大豆上的研究结果一致,可能是由于茎作为主要的输导组织和支撑器官,其代谢活性相对较弱,盐离子在茎中的积累可减轻对功能叶片的伤害。与小型西瓜"秀丽"相比,"秀雅"茎对 Na^+ 和 Cl^- 的贮积能力较强,因而叶中 Na^+ 和 Cl^- 含量较低,可在一定程度上减轻对叶片的伤害。

研究表明,K^+ 和 Ca^{2+} 在植物耐盐性中发挥着重要作用[31-32],如维持细胞膜的完整性取决于其内部一价离子(Na^+、K^+)和二价离子(Ca^{2+}、Mg^{2+})间的平衡。K^+ 具有调控离子平衡、调节渗透和细

胞膨压等生理功能，Na^+竞争K^+吸收位点及活性位点，导致K^+吸收减少，依赖K^+的酶活性及代谢过程受到抑制[33]。因此，保持Na^+的低吸收和K^+的高吸收是许多作物的耐盐性机制[34]，一些研究者把K^+/Na^+比值作为鉴定植物耐盐性的有效指标[35]。盐胁迫下K^+/Na^+比值高的品种耐盐性强[22,36]，原因可能是耐盐品种根系细胞质膜 ATPase 活性上升，形成的质子跨膜梯度促进了K^+进入细胞质，并激活质膜上Na^+/H^+转运体，从而提高K^+的吸收和Na^+的排放[31]。本研究中，盐胁迫使小型西瓜根、茎、叶中K^+含量和K^+/Na^+比值均显著降低，且茎中降低幅度最大；根向茎选择性运输K^+的能力降低，而茎向叶选择性运输能力显著增加。说明盐胁迫下西瓜选择性吸收K^+的能力降低，而选择性吸收Na^+的能力增加，相对而言叶片对K^+的利用率保持在较高水平，是对盐胁迫的一种适应性，有利于维持正常的生理活动。高盐胁迫下“秀雅”各器官中K^+含量高于“秀丽”，根和叶中K^+/Na^+比值也均高于“秀丽”，说明“秀雅”对K^+的吸收利用能力强于“秀丽”，且具有较高的茎向叶运输K^+的能力，限制了Na^+向叶片的运输，从而部分缓解了盐胁迫对其植株的伤害。

许多研究认为，Ca^{2+}在盐胁迫下维持细胞膜的完整性和离子的选择性吸收方面起着重要作用[23,37]。魏国平等[38]认为，Ca^{2+}参与 NaCl 胁迫下嫁接苗的离子区域化，有利于提高茄子嫁接苗的耐盐性。Dasgan 等[39]发现，Ca^{2+}/Na^+比值与番茄耐盐性密切相关，其密切程度甚至超过了K^+/Na^+比值。Yetisir 和 Uygur 研究也表明，嫁接西瓜生物量与其叶片中Ca^{2+}/Na^+比值成正比[20]。本试验中，西瓜茎中Ca^{2+}含量在盐胁迫下显著降低，根和叶中降低幅度不太大；各器官中Ca^{2+}/Na^+比值均显著降低，茎中降低幅度最大；根向茎选择性运输Ca^{2+}的能力显著降低，而茎向叶选择性运输能力显著增加。说明盐胁迫下西瓜各器官对Ca^{2+}的吸收能力均降低，相对而言根和叶对Ca^{2+}的利用率保持在较高水平，对稳定和保护质膜结构具有重要作用[40]。盐胁迫下“秀雅”各器官中Ca^{2+}含量明显高于“秀丽”，根和叶中Ca^{2+}/Na^+比值也均高于“秀丽”，说明“秀雅”对Ca^{2+}的选择吸收能力强于“秀丽”，且具有较高的茎向叶运输Ca^{2+}的能力，使得Na^+向叶片的运输相对减少，即Ca^{2+}通过参与 NaCl 胁迫下盐离子的区域化，提高了西瓜植株对盐胁迫的适应能力。但这是因为Ca^{2+}通过增加根系细胞膜的完整性，或者通过激活与离子运输相关酶的活性，还是作为胁迫信号开启内源激素和相关蛋白的调控链，还有待进一步研究。

镁是植物生长必需的矿质营养元素，关于Mg^{2+}对植物耐盐性的影响报道较少。杨立飞等[41]认为，盐胁迫下叶片中Mg^{2+}含量升高，有利于增强光合作用，从而提高植株的耐盐性。本研究中，盐胁迫造成西瓜各器官中Mg^{2+}含量显著降低，且茎中Mg^{2+}含量降低幅度最大，叶和根中变化幅度较小，这与张古文等[32]和魏国平等[38]的研究结果一致；同时盐胁迫下“秀雅”根系吸收和贮积Mg^{2+}的能力强于“秀丽”，有利于缓解Na^+和Cl^-吸收过多对植株造成的伤害。

4　结论

盐胁迫下小型西瓜幼苗体内Na^+和Cl^-含量显著增加，K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}含量不同程度降低；低浓度 NaCl 条件下，植株可通过提高对K^+、Ca^{2+}的吸收及选择性运输，调控离子在器官间的区域化分布，减少盐离子向叶片的运输，保持光合器官中较高的K^+和Ca^{2+}含量，减轻盐胁迫对植株的伤害；但植株对离子分布的调控能力随盐胁迫增强而逐渐减弱，最终导致离子代谢紊乱，产生盐离子毒害，引起生长抑制。盐胁迫下“秀雅”茎向叶片选择性运输K^+、Ca^{2+}的能力较强，导致叶中K^+和Ca^{2+}含量较高而Na^+和Cl^-含量较低，有利于维持较高的光合活性及生长能力，因而说明其耐盐性较强。

参 考 文 献：

[1] Yamaguchi T, Blumwald E. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities [J]. Trends Plant Sci., 2005, 10 (12): 615-620.

[2] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress [J]. Plant Cell Environ., 2002, 25: 239-250.

[3] Ashraf M, O'Leary J W. Distribution of cations in leaves of salt-tolerant and salt-sensitive lines of sunflower under saline conditions [J]. J. Plant Nutr., 1995, 18: 2379-2388.

[4] Zhu J K. Regulation of ion homeostasis under salt stress [J]. Curr. Opin. Plant Biol., 2003, 6: 441-445.

[5] Ashraf M, Ahmad S. Influence of sodium chloride on ion accumulation, yield components and fibre characteristics in salt-tolerant and salt-sensitive lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Field Crops Res., 2000, 66(2): 115-127.

[6] Kao W Y, Tsai T T, Tsai H C, Shih C N. Response of three glycine species to salt stress [J]. Environ. Exp. Bot., 2006, 56: 120-125.

[7] Netondo G W, Onyango J C, Beck E. Sorghum and salinity: I.

Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity[J]. Crop Sci., 2004, 44(3): 797-805.

[8] Ding T L, Duna P, Wang B S. Na^+/K^+ selectivity of leaf sheath in wheat cultivars differing in salt tolerance[J]. J. Plant Physiol. Mol. Biol., 2006, 32 (1): 123-126.

[9] Jiang X Y, Song J, Fan H, Zhao K F. Regulations of exogenous calcium and spermidine on ion balance and polyamine levels in maize seedlings under NaCl stress[J]. Acta Phytophysiol. Sin., 2000, 26(6): 539-544.

[10] Shaterian J, Waterer D, Jong H D *et al.* Differential stress responses to NaCl salt application in early- and late-maturing diploid potato (*Solanum* sp.) clones[J]. Environ. Exp. Bot., 2005, 54: 202-212.

[11] Maggio A, Raimondi G, Martino A, Pascale S D. Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold[J]. Environ. Exp. Bot., 2007, 59: 276-282.

[12] 吴雪霞，朱月林，朱为民，陈建林. 外源一氧化氮对NaCl胁迫下番茄幼苗光合作用和离子含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2007，13(4)：658-663.
Wu X X, Zhu Y L, Zhu W M, Chen J L. Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis and ionic contents of tomato seedlings under NaCl stress[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(4): 658-663.

[13] 束胜，孙锦，郭世荣，等. 外源腐胺对盐胁迫下黄瓜幼苗叶片PSⅡ光化学特性和体内离子分布的影响[J]. 园艺学报，2010，37(7)：1065-1072.
Shu S, Sun J, Guo S R *et al.* Effects of exogenous putrescine on PSⅡ photochemistry and ion distribution of cucumber seedlings under salt stress[J]. Acta Hortic. Sin., 2010, 37(7): 1065-1072.

[14] 李青云，葛会波，胡淑明. 外源腐胺和钙对NaCl胁迫下草莓幼苗离子吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2008，14(3)：540-545.
Li Q Y, Ge H B, Hu S M. Effect of eoxogenous putrescine and calcium on ion uptake of strawberry seedling under NaCl stress [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(3): 540-545.

[15] 阎志红，刘文革，赵胜杰，等. NaCl胁迫对不同西瓜种质资源发芽的影响[J]. 植物遗传资源学报，2006，7(2)：220-225.
Yan Z H, Liu W G, Zhao S J *et al.* Effect of NaCl stress on germination of different watermelon varieties[J]. J. Plant Genet. Resour., 2006, 7(2): 220-225.

[16] Colla G, Roupahel Y, Cardarelli M. Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants[J]. Hort. Sci., 2006, 41(3): 622-627.

[17] 朱士农，郭世荣. 嫁接对盐胁迫下西瓜植株体内Na^+和K^+含量及其分布的影响[J]. 园艺学报，2009，36(6)：814-820.
Zhu S N, Guo S R. Effects of grafting on K^+, Na^+ contents and distribution of watermelon (*Citrullus vulgaris* Schrad.) seedlings under NaCl stress[J]. Acta Hortic. Sin., 2009, 36(6): 814-820.

[18] 韩志平，郭世荣，尤秀娜，等. 盐胁迫对西瓜幼苗活性氧代谢和渗透调节物质含量的影响[J]. 西北植物学报，2010，30(11)：2210-2218.
Han Z P, Guo S R, You X N *et al.* Metabolism of reactive oxygen species and contents of osmotic substances in watermelon seedlings under salinity stress[J]. Acta Bot. Bor-Occid. Sin., 2010, 30(11): 2210-2218.

[19] 张振兴，孙锦，郭世荣，童辉. 钙对盐胁迫下西瓜光合特性和果实品质的影响[J]. 园艺学报，2011，38(10)：1929-1938.
Zhang Z X, Sun J, Guo S R, Tong H. Effects of supplemental calcium on the photosynthetic characteristics and fruit quality of watermelon under salt stress[J]. Acta Hortic. Sin., 2011, 38 (10): 1929-1938.

[20] Yetisir H, Uygur V. Plant growth and mineral element content of different gourd species and watermelon under salinity stress[J]. Turk J. Agric. For., 2009, 33: 65-77.

[21] 王宝山，赵可夫. 小麦叶片中Na、K提取方法的比较[J]. 植物生理学通讯，1995，31(1)：50-52.
Wang B S, Zhao K F. Comparision of extractive methods of Na and K in wheat leaves[J]. Plant Physiol. Comm., 1995, 31 (1): 50-52.

[22] 於丙军，罗庆云，刘友良. 盐胁迫对盐生野大豆生长和离子分布的影响[J]. 作物学报，2001，27(6)：776-780.
Yu B J, Luo Q Y, Liu Y L. Effects of salt stress on growth and ionic distribution of salt-born *Glycine soja* [J]. Acta Agron. Sin., 2001, 27(6): 776-780.

[23] 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[J]. 植物生理学报，2001，27(4)：325-330.
Zheng Q S, Wang R L, Liu Y L. Effects of Ca^{2+} on absorption and distribution of ions in salt-treated cotton seedlings[J]. Acta Photophysiol. Sin., 2001, 27(4): 325-330.

[24] Yeo A. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology[J]. J. Exp. Bot., 1998, 49: 915-929.

[25] 罗庆云，於丙军，刘友良. 大豆苗期耐盐性鉴定指标的检验[J]. 大豆科学，2001，20(3)：177-182.
Luo Q Y, Yu B J, Liu Y L. Effect of NaCl on the growth, K^+, Na^+ and Cl^- distribution in seedlings of 6 soybean cultivars (*Glycine max* L. Merrill)[J]. Soyb. Sci., 2001, 20(3): 177-182.

[26] Ashraf M, Harris P J C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants[J]. Plant Sci., 2004, 166: 3-16.

[27] 杨洪兵，陈敏，王宝山. 小麦幼苗拒Na^+部位的拒Na^+机理[J]. 植物生理与分子生物学报，2002，28(3)：181-186.
Yang H B, Chen M, Wang B S. Na^+ exclusion mechanism of the Na^+ exclusion sites in wheat seedlings[J]. J. Plant Physiol. Mol. Biol., 2002, 28(3): 181-186.

[28] Chartzoulakis K, Klapaki G. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages[J]. Sci. Hort., 2000, 86: 247-260.

[29] 於丙军，罗庆云，刘友良. NaCl胁迫下野生和栽培大豆幼苗

体内离子的再转运[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2003, 29(1): 39-44.
Yu B J, Luo Q Y, Liu Y L. Re-transportation of ions in *Glycine soja* and *Glycine max* seedlings under NaCl stress[J]. J. Plant Physiol. Mol. Biol., 2003, 29(1): 39-44.

[30] 杨晓英, 章文华, 王庆亚, 刘友良. 江苏野生大豆的耐盐性和离子在体内的分布及选择性运输[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2237-2240.
Yang X Y, Zhang W H, Wang Q Y, Liu Y L. Salt tolerance of wild soybeans in Jiangsu and its relation with ionic distribution and selective transportation[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(12): 2237-2240.

[31] 李长润, 刘友良. 盐胁迫下小麦幼苗离子吸收运输的选择性与叶片耐盐量[J]. 南京农业大学学报, 1993, 16(1): 16-20.
Li C R, Liu Y L. Studies on K^+, Na^+ selectivity during ion uptake and transport and salt tolerance of leaf cells of wheat seedlings under salt stress conditions[J]. J. Nanjing Agric. Univ., 1993, 16(1): 16-20.

[32] 张古文, 朱月林, 杨立飞, 等. NaCl 胁迫对番茄嫁接苗生物量及离子含量的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2069-2074.
Zhang G W, Zhu Y L, Yang L F *et al*. Effects of NaCl stress on the biomass and ion contents in grafted tomato seedlings[J]. Acta Bot. Bor-Occid. Sin., 2006, 26(10): 2069-2074.

[33] Maathuis F J M, Amtmann A. K^+ nutrition and Na^+ toxicity: the basis of cellular K^+/Na^+ ratios[J]. Ann. Bot., 1999, 84: 123-133.

[34] Shannon M C, Grieve C M. Tolerance of vegetable crops to salinity[J]. Sci. Hort., 1999, 78: 5-38.

[35] Poustini K, Siosemardeh A. Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress[J]. Field Crops Res., 2004, 85: 125-133.

[36] 王仁雷, 华春, 罗庆云, 刘友良. 盐胁迫下水稻叶绿体中 Na^+、Cl^- 积累导致叶片净光合速率下降[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2002, 28(5): 385-390.
Wang R L, Hua C, Luo Q Y, Liu Y L. Na^+ and Cl^- accumulation in chloroplasts results in a decrease in net photosynthetic rate in rice leaves under salt stress[J]. J. Plant Physiol. Mol. Biol., 2002, 28(5): 385-390.

[37] 晏斌, 戴秋杰, 刘晓忠, 等. 钙提高水稻耐盐性的研究[J]. 作物学报, 1995, 21(6): 685-690.
Yan B, Dai Q J, Liu X Z *et al*. The study on increasing salt resistance of rice by calcium[J]. Acta Agron. Sin., 1995, 21(6): 685-690.

[38] 魏国平, 朱月林, 刘正鲁, 等. NaCl 胁迫对茄子嫁接苗生长和离子分布的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(6): 1172-1178.
Wei G P, Zhu Y L, Liu Z L *et al*. Growth and ionic distribution of grafted eggplant seedlings with NaCl stress[L]. Acta Bot. Bor- Occid. Sin., 2007, 27 (6): 1172-1178.

[39] Dasgan H Y, Aktas H, Abak K, Cakmak I. Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses[J]. Plant Sci., 2002, 163: 695-703.

[40] Cramer G R, Lauchli A, Polito V S. Displacement of Ca^{2+} by Na^+ from the plasmalemma of root cells[J]. Plant Physiol., 1985, 79: 207-211.

[41] 杨立飞, 朱月林, 胡春梅, 等. NaCl 胁迫对营养液栽培嫁接黄瓜生物量及离子分布的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26 (12): 2500-2505.
Yang L F, Zhu Y L, Hu C M *et al*. Effects of salt stress on biomass formation and ion partition in hydroponicaly-cultured grafted cucumber[J]. Acta Bot. Bor.- Occid. Sin. 2006, 26 (12): 2500-2505.