

NaCl 胁迫对菊芋幼苗生长和 叶片光合作用参数以及体内离子分布的影响

陆 艳, 叶慧君, 耿守保, 黄增荣, 隆小华^①, 刘兆普

(南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 对不同浓度[0(CK)、50 和 100 mmol · L⁻¹]NaCl 胁迫条件下菊芋 (*Helianthus tuberosus* L.) 幼苗的生长、叶片光合作用参数以及体内 Cl⁻、Na⁺ 和 K⁺ 含量分布状况进行了比较研究。结果表明, 随 NaCl 浓度的提高, 菊芋幼苗单株地上部分的鲜质量和干质量以及全株鲜质量和干质量均逐渐下降且均与对照差异显著 ($P < 0.05$); 地下部分的鲜质量和干质量也呈逐渐下降的趋势, 但仅 100 mmol · L⁻¹ NaCl 处理组与对照组间有显著差异 ($P < 0.05$)。随 NaCl 浓度的提高, 叶片的净光合速率 (Pn) 和气孔导度 (Gs) 逐渐减小、水分利用效率 (WUE) 和气孔限制值 (Ls) 逐渐增大, 但总体上差异不显著 ($P > 0.05$); 50 和 100 mmol · L⁻¹ NaCl 处理组的 Pn 分别为对照组的 85.6% 和 44.9%, Gs 分别为对照组的 67.9% 和 57.1%, WUE 分别为对照组的 1.25 和 1.54 倍, Ls 分别为对照组的 1.57 和 1.64 倍。随 NaCl 浓度的提高, 菊芋幼苗地上部分和地下部分的 Cl⁻ 和 Na⁺ 含量逐渐增加、K⁺ 含量逐渐减小, 且各处理组间 Na⁺ 含量差异显著、K⁺ 含量差异不显著; 地上部分和地下部分的 Na⁺/K⁺ 比均随 NaCl 浓度的提高逐渐增大, 0、50 和 100 mmol · L⁻¹ NaCl 处理组幼苗地上部分的 Na⁺/K⁺ 比分别为 0.26、0.83 和 2.39, 地下部分的 Na⁺/K⁺ 比分别为 0.51、1.16 和 2.83; 各处理组幼苗地上部分的 Cl⁻、Na⁺ 和 K⁺ 含量均明显高于地下部分, 表明地下部分吸收的 Cl⁻、Na⁺ 和 K⁺ 大部分被转移至地上部分。研究结果显示, NaCl 胁迫对菊芋幼苗生长和叶片光合作用等均有一定的抑制作用, 对其体内离子平衡也有一定的影响, 干扰了菊芋幼苗的正常生长。

关键词: 菊芋; NaCl 胁迫; 生长; 光合作用; 离子分布

中图分类号: Q945.78; S682.1⁺9 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2010)02-0086-06

Effects of NaCl stress on growth, leaf photosynthetic parameters and ion distribution of *Helianthus tuberosus* seedling LU Yan, YE Hui-jun, GENG Shou-bao, HUANG Zeng-rong, LONG Xiao-hua^①, LIU Zhao-pu (College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2010, 19(2): 86-91

Abstract: Growth, leaf photosynthetic parameters and Cl⁻, Na⁺ and K⁺ of distribution status in *Helianthus tuberosus* L. seedlings were studied under NaCl stress with different concentrations of 0 (CK), 50 and 100 mmol · L⁻¹. The results show that fresh and dry weights of above-ground part and whole seedling all decrease gradually and have significant differences compared with the control group ($P < 0.05$), and also those of under-ground part appear gradual decreasing trend but only has a significant difference between 100 mmol · L⁻¹ NaCl treatment group and the control group ($P < 0.05$). With NaCl concentration rising, net photosynthetic rate (Pn) and stomatal conductance (Gs) of leaf decrease gradually, while water use efficiency (WUE) and stomatal limitation (Ls) increase gradually, but generally, all differences of the four indexes are not significant among different treatment groups ($P > 0.05$). In 50 and 100 mmol · L⁻¹ NaCl treatment groups, Pn is 85.6% and 44.9%, Gs is 67.9% and 57.1%, WUE is 1.25 and 1.54 times and Ls is 1.57 and 1.64 times of their respective control group. In above-ground and under-ground parts of seedlings, contents of Cl⁻ and Na⁺ increase gradually while

收稿日期: 2009-11-23

基金项目: 南京农业大学资源与环境科学学院“SRT 计划”项目(200905); 国家海洋“863”计划项目(2007AA091702); 江苏省滩涂生物资源与环境保护重点实验室开放课题(JLCBE07001); 南京农业大学青年创新基金项目(KJ08010)

作者简介: 陆 艳(1989—), 女, 江苏昆山人, 本科, 主要从事耐盐生物质能源植物资源选育及其逆境生理生化研究。

^①通信作者 E-mail: lxh108@yahoo.com.cn

K^+ content decreases gradually with NaCl concentration rising, and the difference of Na^+ content is significant but that of K^+ content is not significant among different treatment groups. Na^+/K^+ ratios of above-ground and under-ground parts all increase with NaCl concentration rising, and under 0, 50 and 100 $mmol \cdot L^{-1}$ NaCl stress, Na^+/K^+ ratio of above-ground part is 0.26, 0.83 and 2.39 and that of under-ground part is 0.51, 1.16 and 2.83, respectively. Contents of Cl^- , Na^+ and K^+ of above-ground part are all obviously higher than those of under-ground part in different treatment groups, showing most of Cl^- , Na^+ and K^+ absorbed by under-ground part being transferred to above-ground part. It is concluded that NaCl stress has some inhibition to growth and photosynthesis, and also influences on ion balance in *H. tuberosus* seedling, therefore, disturbs normal growth of *H. tuberosus* seedlings.

Key words: *Helianthus tuberosus* L.; NaCl stress; growth; photosynthesis; ion distribution

盐碱土是陆地上广泛分布的土壤类型之一,约占全球陆地总面积的 25%。中国的盐碱地面积有 3 300 多万公顷,因盐碱导致大量的土地荒废。对于中国这样一个耕地资源日趋减少的人口大国而言,充分利用盐碱地,实现经济效益、环境保护和可持续发展相结合,具有十分广阔的应用前景。

菊芋 (*Helianthus tuberosus* L.) 又名洋姜,属菊科 (Compositae) 向日葵属 (*Helianthus* L.) 多年生草本植物^[1],是目前在中国沿海滩涂推广种植的主要海涂耐盐高效植物之一^[2]。菊芋集耐贫瘠、耐寒、耐旱、抗病虫、分布广及适应性强等特点于一体,生物产量较高^[3],是一种不可多得的生态经济型植物。一方面,其块茎能够加工成生物燃料,通过生物炼制生产各类生物基化学品;另一方面,由其加工成的生物保健产品市场容量大、销路广泛,其叶片中生物活性物质(如氯原酸^[4]等)含量丰富,市场开发潜力较大。

利用盐碱地种植菊芋可以产生明显的社会效益和经济效益,充分挖掘沿海滩涂、盐碱荒地及不适宜粮食种植的土地资源的生产潜力,就能够做到不与农作物争地、将生态治理与环境保护相结合及将中低产田改造与农业结构调整相结合的目的。

作者研究了不同浓度 NaCl 胁迫对菊芋幼苗生长指标、叶片光合作用参数以及体内 Na^+ 、 K^+ 和 Cl^- 分布的影响,并分析了菊芋的耐盐性,以期为菊芋耐盐机制的研究及推广种植提供一定的参考依据。

1 材料和方法

1.1 材料

实验于 2009 年 4 月在南京农业大学温室内进行。供试菊芋取自江苏盐城大丰试验田。菊芋块茎先后用自来水及蒸馏水冲洗干净后,经体积分数为

0.05% 的杀真菌剂进行表面灭菌;将已灭菌的具有 1 个芽眼的菊芋块茎的切块(直径约 0.5 cm)播种于装有石英砂且下部有孔的塑料盆(直径 17 cm、高 14 cm)中,置于自然光照条件下进行培养。待块茎萌发后,用 1/2 Hoagland 营养液浇灌。待菊芋幼苗长至 3 叶期时进行疏苗,每盆保留 1 株,共 36 盆,备用。

1.2 方法

1.2.1 NaCl 胁迫处理方法 待菊芋幼苗长至 6 叶 1 心期时进行 NaCl 胁迫处理。分别用 NaCl 终浓度为 0 (CK)、50 和 100 $mmol \cdot L^{-1}$ 的 1/2 Hoagland 营养液进行胁迫处理。为了避免盐冲击效应,NaCl 浓度每天递增 50 $mmol \cdot L^{-1}$,直至达到预定浓度为止^[5]。之后,每隔 2 天分别用 NaCl 浓度相同的 1/2 Hoagland 营养液进行浇灌。每处理 12 株幼苗,处理 15 d 后分别采集菊芋植株的地上部分和地下部分,供分析。

1.2.2 生长指标的测定方法 用去离子水洗净菊芋幼苗表面的砂粒,吸干水分后按单株分开,分别称取每一单株地上部分和地下部分的鲜质量;然后将地上部分和地下部分分别装入干燥纸袋内,110 $^{\circ}C$ 杀青 10 min 后,于 60 $^{\circ}C$ 烘干至恒质量,分别称量每一单株地上部分和地下部分的干质量,并计算干物质积累率。每一样品各重复称量 4 次,结果取平均值。

1.2.3 光合作用参数的测定方法 在胁迫处理结束的当天,取菊芋植株中部 7~9 叶位的叶片,避开大叶脉,于上午 8:00 至 10:00 用美国 LI-COR 公司生产的 Li-6400 型光合测定仪测定叶片的净光合速率、胞间 CO_2 浓度、大气 CO_2 浓度和蒸腾速率等参数。测定时以生物效应灯为光源,叶室温度 25 $^{\circ}C$,光照强度 1 000 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, CO_2 浓度 350 $\mu mol \cdot mol^{-1}$,相对湿度 58%~65%,叶室面积 6 cm^2 。每个参数均重复测定 3 次,结果取平均值。

1.2.4 离子含量的测定方法 菊芋植株地上部分与地下部分分别经过烘干、研磨后过 30 目筛,各称取粉末样品 50 mg,参照 Hunt 的方法^[6],用 WGH-1 火焰光度计(上海电子光学技术研究所制造)测定样品中的 Na^+ 和 K^+ 含量,用滴定法^[7]测定样品中的 Cl^- 含量。重复测定 3 次,结果取平均值。

1.3 数据处理与分析

菊芋幼苗地上部分和地下部分的干物质积累率按公式:干物质积累率=(干质量/鲜质量) $\times 100\%$ 进行计算。水分利用效率和气孔限制值的计算公式分别为:水分利用效率(WUE)=净光合速率(P_n)/蒸腾速率(T_r);气孔限制值= $1 - [\text{胞间 } \text{CO}_2 \text{ 浓度 } (C_i) / \text{大气 } \text{CO}_2 \text{ 浓度 } (C_a)]$ ^[8-9]。

运用 SPSS 统计分析软件对实验数据进行统计和分析。

2 结果和分析

2.1 NaCl 胁迫对菊芋幼苗生长的影响

在不同浓度 NaCl 胁迫条件下,菊芋幼苗单株地上部分和地下部分的鲜质量及干质量以及全株的鲜质量及干质量见表 1。

由表 1 可见,在 0 ~ 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫条件下,菊芋幼苗单株地上部分的鲜质量和干质量以及全株的鲜质量和干质量均呈显著下降的趋势($P < 0.05$);地下部分的鲜质量及干质量也呈下降的趋势,但对照组和 50 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理组间以及 50 和 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理组间的差异不显著($P > 0.05$),而对照和 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理间差异显著($P < 0.05$)。表明 NaCl 胁迫处理对菊芋幼苗地下

表 1 不同浓度 NaCl 胁迫条件下菊芋幼苗单株平均鲜质量和平均干质量的比较($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

Table 1 Comparison of average fresh weight and average dry weight of individual of *Helianthus tuberosus* L. seedling under NaCl stress with different concentrations ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

NaCl 浓度/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ Conc. of NaCl	单株平均鲜质量/g Average fresh weight of individual			单株平均干质量/g Average dry weight of individual		
	地上部分 Above-ground part	地下部分 Under-ground part	全株 Whole seedling	地上部分 Above-ground part	地下部分 Under-ground part	全株 Whole seedling
0 (CK)	30.38 \pm 0.85a	5.57 \pm 0.08a	35.95 \pm 0.92a	2.99 \pm 0.28a	0.46 \pm 0.08a	3.45 \pm 0.36a
50	16.81 \pm 0.09b	3.60 \pm 0.05ab	20.41 \pm 0.04b	2.16 \pm 0.09b	0.24 \pm 0.02ab	2.40 \pm 0.11b
100	8.53 \pm 0.73c	1.95 \pm 0.78b	10.48 \pm 0.05c	1.12 \pm 0.08c	0.16 \pm 0.03b	1.28 \pm 0.05c

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示在 5% 水平上差异显著 Different small letters in same column indicate the significant difference at 5% level.

部分生长的影响远小于地上部分。

根据表 1 中全株的鲜质量和干质量计算得出 0 (CK)、50 及 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫条件下菊芋幼苗单株的平均干物质积累率分别为 9.60%、11.76% 和 12.21%,50 和 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫处理组菊芋幼苗全株的干物质积累率分别为对照组的 1.23 和 1.27 倍,表明 50 和 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫处理对菊芋植株的生长有一定的影响,也可能是由于在 NaCl 胁迫条件下菊芋植株的渗透压增加,引起植物细胞脱水所致。

2.2 NaCl 胁迫对菊芋幼苗光合作用参数的影响

在不同浓度 NaCl 胁迫条件下,菊芋幼苗叶片的净光合速率、水分利用效率、气孔导度和气孔限制值见表 2。

由表 2 可见,在菊芋幼苗叶片的 4 个光合作用参数中,除 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫处理组菊芋幼苗叶

片的净光合速率显著低于对照组 ($P < 0.05$) 外,不同浓度 NaCl 处理组间这 4 个参数的差异均不显著 ($P > 0.05$)。

在实验浓度范围内,菊芋幼苗叶片净光合速率与气孔导度具有相似的变化趋势,即随着 NaCl 浓度的提高递减;在 50 和 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫条件下,菊芋幼苗叶片的净光合速率分别为对照的 85.6% 和 44.9%、气孔导度分别为对照的 67.9% 和 57.1%。菊芋幼苗叶片的水分利用效率与气孔限制值则随 NaCl 胁迫浓度的提高递增;在 50 和 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫条件下,菊芋幼苗叶片的水分利用效率分别为对照的 1.25 和 1.54 倍、气孔限制值分别为对照的 1.57 和 1.64 倍。

可见,随 NaCl 胁迫浓度的提高,菊芋幼苗叶片的净光合速率受到抑制,这可能是由于 NaCl 胁迫导致叶片气孔导度下降,造成 CO_2 供应受阻,从而对菊芋

表2 不同浓度 NaCl 胁迫条件下菊芋幼苗叶片 4 个光合作用参数的比较 ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾Table 2 Comparison of four photosynthetic parameters of leaf of *Helianthus tuberosus* L. seedling under NaCl stress with different concentrations ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

NaCl 浓度/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ Conc. of NaCl	净光合速 率/ $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Net photosynthetic rate	水分利用效 率/ $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ Water use efficiency	气孔导 度/ $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Stomatal conductance	气孔限制值 Stomatal limitation
0 (CK)	23.33±0.43a	5.31±0.16a	0.28±0.02a	0.42±0.04a
50	19.97±0.88a	6.63±0.65a	0.19±0.07a	0.66±0.09a
100	10.47±3.20b	8.19±3.42a	0.16±0.02a	0.69±0.10a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示在 5% 水平上差异显著 Different small letters in same column indicate the significant difference at 5% level.

幼苗叶片的光合作用产生一定的抑制作用。

2.3 NaCl 胁迫对菊芋幼苗体内 Cl^- 、 Na^+ 和 K^+ 分布的影响

在不同浓度 [0 (CK)、50 和 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$] NaCl 胁迫处理条件下, 菊芋幼苗地上部分与地下部分的 Cl^- 、 Na^+ 和 K^+ 含量见表 3。

由表 3 可见, 菊芋幼苗地上部分和地下部分的 Cl^- 含量随 NaCl 胁迫浓度提高而增加; 50 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理组的菊芋幼苗地上部分和地下部分的 Cl^- 含量与对照组差异不显著 ($P > 0.05$), 分别是对照组的 1.16 和 1.06 倍; 而 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理组菊芋幼苗地上部分和地下部分的 Cl^- 含量则显著高于对照组 ($P < 0.05$), 分别为对照组的 2.59 和 1.60 倍。相比之下, 各处理组与对照组菊芋幼苗地上部分的 Cl^- 含量均高于地下部分, 说明菊芋幼苗地下部分吸收的 Cl^- 大部分被转移并积累在地上部分。

由表 3 还可知, 菊芋幼苗地上部分和地下部分的 Na^+ 含量均随 NaCl 胁迫浓度的提高而增加, 各处理组间差异显著, 且地上部分较地下部分变化更显著。在 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫条件下, 菊芋幼苗对 Na^+ 的吸收量最大, 地上部分的 Na^+ 含量分别是对照组和 50 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理组的 7.10 和 2.69 倍, 而地下部分的 Na^+ 含量则分别是对照组和 50 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理组的

2.98 和 1.46 倍。由于对照组及各处理组菊芋幼苗地上部分与地下部分 Na^+ 含量的比值均大于 1, 说明通过菊芋幼苗根系吸收的 Na^+ 多数被转移并积累在其幼苗的地上部分。

在不同浓度 NaCl 胁迫处理条件下, 菊芋幼苗地上部分和地下部分 K^+ 含量的变化趋势与 Na^+ 和 Cl^- 含量的变化趋势完全相反, 即: 菊芋幼苗地上部分和地下部分的 K^+ 含量随 NaCl 胁迫浓度的提高而减少, 但不同处理组间的差异均不显著 ($P > 0.05$)。此外, 0 (CK)、50、100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫处理组菊芋幼苗地上部分与地下部分的 K^+ 含量之比分别为 2.08、1.89 和 2.95, 均大于 1, 说明菊芋幼苗吸收的 K^+ 多数被转移并积累在其幼苗的地上部分。

在 0 (CK)、50 和 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫处理条件下, 菊芋幼苗地上部分的 Na^+/K^+ 比分别为 0.26、0.83 和 2.39, 地下部分的 Na^+/K^+ 比分别为 0.51、1.16 和 2.83, 可见, 随着 NaCl 胁迫浓度的提高, 菊芋幼苗地上部分与地下部分的 Na^+/K^+ 比均呈现递增的趋势。表明随 NaCl 胁迫浓度的提高, 菊芋幼苗吸收的 Na^+ 逐渐增多而 K^+ 的吸收量逐渐减少, 使菊芋幼苗体内 Na^+/K^+ 比不能维持正常水平, 从而影响菊芋幼苗体内的离子平衡。

表3 不同浓度 NaCl 胁迫条件下菊芋幼苗地上部分和地下部分 Cl^- 、 Na^+ 和 K^+ 含量的比较 ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾Table 3 Comparison of Cl^- , Na^+ and K^+ contents in above-ground and under-ground parts of *Helianthus tuberosus* L. seedling under NaCl stress with different concentrations ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

NaCl 浓度/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ Conc. of NaCl	Cl^- 含量/ $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ Cl^- content		Na^+ 含量/ $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ Na^+ content		K^+ 含量/ $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ K^+ content	
	地上部分 Above-ground part	地下部分 Under-ground part	地上部分 Above-ground part	地下部分 Under-ground part	地上部分 Above-ground part	地下部分 Under-ground part
0 (CK)	1.374±0.246b	0.610±0.009b	0.451±0.099c	0.431±0.073c	1.746±0.350a	0.841±0.130a
50	1.589±0.132b	0.646±0.002b	1.193±0.199b	0.879±0.125b	1.434±0.060a	0.759±0.171a
100	3.554±0.172a	0.979±0.036a	3.204±0.321a	1.283±0.059a	1.341±0.133a	0.454±0.111a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示在 5% 水平上差异显著 Different small letters in same column indicate the significant difference at 5% level.

3 讨论和结论

一般认为,植物耐盐性的大小由遗传性决定,不同植物及同种植物不同发育阶段的耐盐性有差异^[10]。中性盐(NaCl)胁迫的伤害作用主要通过离子本身的毒性效应、高浓度盐的渗透效应和营养亏缺效应来实现^[11-12]。其中,离子毒性效应包括过量的 Na⁺ 和 Cl⁻ 对植物细胞膜系统的伤害,导致细胞膜透性增大、电解质外渗以及由此引起的细胞代谢失调;渗透效应是指由于根系环境中盐分浓度的提高、水势下降而引起的植物吸水困难;营养亏缺效应则是指在植物根系吸收过程中,高浓度的 Na⁺ 和 Cl⁻ 的存在干扰了植物对营养元素 K、Ca 和 N 的吸收,造成植物体内营养元素缺乏,最终影响植物的生长发育^[13]。

在盐胁迫条件下,过多的 Na⁺ 对植物是有害的,会影响植物光合产物的积累,从而影响植物的生物产量^[14]。本实验结果表明,在 50 和 100 mmol · L⁻¹ NaCl 胁迫条件下,菊芋幼苗的地上部分与地下部分的生物量均受到不同程度的影响,且均随着 NaCl 浓度的提高而减少,尤以高浓度(100 mmol · L⁻¹) NaCl 胁迫的影响最为显著,但菊芋幼苗地下部分对 NaCl 胁迫的敏感程度低于地上部分。

在盐胁迫条件下,随 NaCl 浓度的增高,植物叶片的叶绿素含量下降,从而影响植物的光合作用^[15]。而光合作用的改变可能受到气孔导度的限制,气孔导度的大小又与植物的光合速率密切相关。在大多数情况下,气孔导度下降将造成 CO₂ 供应受阻进而使植物的光合速率下降^[16]。本实验结果表明,低浓度 NaCl 胁迫对菊芋幼苗叶片光合作用参数的影响小于高浓度 NaCl 胁迫,随 NaCl 浓度的提高,菊芋叶片细胞内的渗透压不断增加,使细胞含水量降低,从而影响光合作用和水分利用效率,即净光合速率明显下降。水分利用效率即水分生产率,是显示作物水分吸收利用过程效率的一个指标^[17]。盐胁迫条件下,植株脱水严重,为适应此逆境,植株水分利用效率及气孔限制值增加,以达到减少水分散失的目的,在一定程度上有利于缓解水分失衡,从而提高植株的耐盐性^[18]。

在植物体内,Na⁺ 是没有活化作用的阳离子,生物体内积累过多的 Na⁺ 会使参与机体代谢的酶形成无活性的蛋白构成物进而毒害植物^[19];而 K⁺ 是具有活

化作用的一价阳离子,是保证植物正常代谢的关键离子,提高植物体内的 K⁺ 含量有利于维持细胞内的离子平衡,在植物对逆境的适应中起着十分关键的作用^[20];植物叶片的 Na⁺/K⁺ 比通常被认为是评价植物耐盐性的重要指标之一^[21]。汪贵斌等^[13] 的研究结果显示,随盐胁迫的增强,叶片中的 Na⁺ 浓度和 Na⁺/K⁺ 比均随之增高。本实验结果表明,在低浓度 NaCl 胁迫条件下,菊芋幼苗地上部分与地下部分的 Na⁺ 含量和 K⁺ 含量相对稳定,当 NaCl 浓度达 100 mmol · L⁻¹ 时,菊芋幼苗对 Na⁺ 的吸收明显增加,并减少了对 K⁺ 的吸收,不能维持菊芋体内正常的 Na⁺/K⁺ 比,破坏了植株体内的离子平衡,超过了菊芋的耐盐负荷,植株的代谢功能受阻。

综上所述,NaCl 胁迫处理对菊芋幼苗生长和叶片光合作用等生长和生理过程均有一定的影响。在 NaCl 胁迫条件下,随 NaCl 浓度的提高,过多的 Na⁺ 导致细胞渗透压增加、细胞含水量降低,从而影响植物的光合作用、降低光合产物的积累,且在高浓度 NaCl 胁迫条件下菊芋幼苗不能维持体内正常的 Na⁺/K⁺ 比,导致植株生长发育受到抑制,最终使其生物产量降低。

参考文献:

- [1] Chen K, Hu G Q, Keutgen N, et al. Effects of NaCl salinity and CO₂ enrichment on pepino (*Solanum muricatum* Ait.): II. Leaf photosynthetic properties and gas exchange [J]. *Scientia Horticulturae*, 1999, 81(1): 43-56.
- [2] 刘兆普, 隆小华, 刘玲, 等. 海岸带滨海盐土资源发展能源植物资源的研究[J]. *自然资源学报*, 2008, 23(1): 9-14.
- [3] 周珠扬, 朱磊, 杨杰. 菊芋的功能及开发利用前景[J]. *西藏科技*, 2009(6): 73-75.
- [4] 李淑媛, 常翠青. 氯原酸的生物活性与人体健康[J]. *卫生研究*, 2005, 34(6): 762-764.
- [5] 薛延丰, 刘兆普. 不同浓度 NaCl 和 Na₂CO₃ 处理对菊芋幼苗光合及叶绿素荧光的影响[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(1): 161-167.
- [6] Hunt J. Dilute hydrochloric acid extraction of plant material for routine cation analysis [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1982, 13(1): 49-55.
- [7] 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.
- [8] 廖建雄, 王根轩. 谷子叶片光合速率日变化及水分利用效率 [J]. *植物生理学报*, 1999, 25(4): 362-368.
- [9] 张邦定. 菊芋的开发与栽培[J]. *四川农业科技*, 1997, 6(5): 39-40.
- [10] 马翠兰, 刘星辉, 陈中海. 果树对盐胁迫的反应及耐盐性鉴定

- 的研究进展[J]. 福建农业大学学报, 2000, 29(2): 161-166.
- [11] 赵可夫. 植物抗盐生理[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 13-20.
- [12] Ruiz D, Martinez V, Cerdá A. Demarcating specific ion (NaCl, Cl⁻, Na⁺) and osmotic effects in the response of two citrus rootstocks to salinity[J]. Scientia Horticulturae, 1999, 80(3/4): 213-224.
- [13] 汪贵斌, 曹福亮, 游庆方, 等. 盐胁迫对4树种叶片中K⁺和Na⁺的影响及其耐盐能力的评价[J]. 植物资源与环境学报, 2001, 10(1): 30-34.
- [14] MacRobbie E A C. Signalling in guard cells and regulation of ion channel activity[J]. Journal of Experimental Botany, 1997, 48: 515-528.
- [15] 尹增芳, 何祯祥, 王丽霞, 等. NaCl 胁迫下海滨锦葵种子萌发和幼苗生长过程的生理特性变化[J]. 植物资源与环境学报, 2006, 15(1): 14-17.
- [16] 张乃华, 高辉远, 邹琦. Ca²⁺缓解NaCl胁迫引起的玉米光合能力下降的作用[J]. 植物生态学报, 2005, 29(2): 324-330.
- [17] 赵耕毛, 刘兆普, 陈铭达, 等. 海水养殖废水灌溉条件下山东滨海盐土溶质迁移及其平衡研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 80-82, 109.
- [18] 王建绪, 刘兆普, 隆小华, 等. 海水浇灌对菊芋生长、光合及耗水特征的影响[J]. 土壤通报, 2009(3): 606-610.
- [19] 杨敏生, 李艳华, 梁海永, 等. 盐胁迫下白杨无性系苗木体内离子分配及比较[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 271-277.
- [20] 郑青松, 刘玲, 刘友良, 等. 盐分和水势胁迫对芦荟幼苗渗透调节和渗透物质积累的影响[J]. 植物生理与分子生物学报, 2003, 29(6): 585-588.
- [21] 杨晓英, 章文华, 王庆亚, 等. 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.

(上接第53页 Continued from page 53)

- [5] 董红云, 李亚, 汪庆, 等. 江苏省3个自然保护区外来入侵植物的调查及分析[J]. 植物资源与环境学报, 2010, 19(1): 86-91.
- [6] 梅玲笑, 陈欣, 唐建军. 外来杂草加拿大一枝黄花对入侵地植物的化感效应[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2379-2382.
- [7] 刘明久, 许桂芳, 姜辉. 入侵植物香丝草化感作用的生物测定[J]. 河南农业科学, 2008(6): 71-73.
- [8] 方芳, 茅玮, 郭水良. 入侵杂草一年蓬的化感作用研究[J]. 植物研究, 2005, 25(4): 449-452.
- [9] 张凤娟, 徐兴友, 陈凤敏, 等. 黄顶菊茎叶浸提液对白菜和水稻幼苗化感作用的初步研究[J]. 西北植物学报, 2008, 28(8): 1669-1674.
- [10] 张国良, 付卫东, 刘坤. 农业重大外来入侵生物[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 26.
- [11] 曾任森. 化感作用研究中的生物测定方法综述[J]. 应用生态学报, 1999, 10(1): 123-126.
- [12] 王鸿燕, 黄苏珍. Pb胁迫对马蔺种子萌发和幼苗根尖细胞有丝分裂的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2009, 18(2): 53-56.
- [13] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls[J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1): 181-187.
- [14] 沈慧敏, 郭鸿儒, 黄高宝. 不同植物对小麦、黄瓜和萝卜幼苗化感作用潜力的初步评价[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 740-743.
- [15] 郭振清, 赵永光, 张凤娟, 等. 入侵植物牛膝菊对白菜、萝卜、生菜、油菜种子和幼苗的化感作用[J]. 河北科技师范学院学报, 2008, 22(3): 13-16.
- [16] 陈圣宾, 李振基. 外来植物入侵的化感作用机制探讨[J]. 生态科学, 2005, 24(1): 69-74.
- [17] 吴海荣, 强胜. 外来杂草波斯婆婆纳的化感作用研究[J]. 种子, 2008, 27(9): 67-69, 73.
- [18] 王开金, 陈列忠, 俞晓平. 加拿大一枝黄花化感作用的初步研究[J]. 浙江农业学报, 2006, 18(5): 299-303.